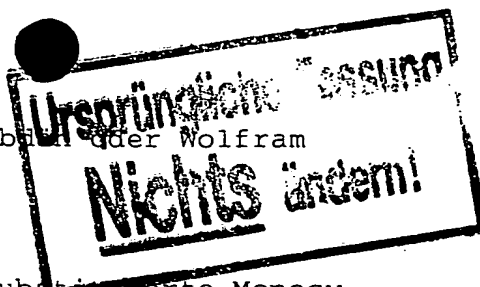


Monocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram



Beschreibung

- 5 Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine ri-
- 10 gide, nicht nur ausschließlich über sp^3 hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene, Donorfunktion trägt, sowie ein Verfahren zur Polymerisation von Olefinen.

- Viele der Katalysatoren, die zur Polymerisation von α -Olefinen
- 15 eingesetzt werden, basieren auf immobilisierten Chromoxiden (siehe z. B. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", 1981, Vol.16, S. 402). Diese ergeben i. a. Ethylenhomo- und Copolymere mit hohen Molekulargewichten, sind jedoch relativ unempfindlich gegenüber Wasserstoff und erlauben somit keine einfache
- 20 Kontrolle des Molekulargewichts. Demgegenüber läßt sich durch Verwendung von Bis(cyclopentadienyl)- (US 3,709,853), Bis(indenyl)- oder Bis(fluorenyl)chrom (US 4,015,059), das auf einem anorganischen, oxidischen Träger aufgebracht ist, das Molekulargewicht von Polyethylen durch Zugabe von Wasserstoff einfach
- 25 steuern.

- Wie bei den Ziegler-Natta-Systemen, ist man auch bei den Chromverbindungen seit kurzem auf der Suche nach Katalysatorsystemen mit einem einheitlich definierten, aktiven Zentrum, sogenannten
- 30 Single-Site-Katalysatoren. Durch gezielte Variation des Ligandgerüsts sollen Aktivität, Copolymerisationsverhalten des Katalysators und die Eigenschaften der so erhaltenen Polymeren einfach verändert werden können.

- 35 So werden in EP-A-742046 die sogenannten constrained geometry Komplexe der 6. Nebengruppe, ein spezielles Verfahren zu ihrer Darstellung (via Metalltetraamiden), sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Polyolefins in Anwesenheit solcher Katalysatoren offenbart. Das Ligandgerüst besteht aus einem anionischen Donor,
- 40 der mit einem Cyclopentadienylrest verknüpft ist.

- Von K. H. Theopold et al. wird in Organomet. 1996, 15, 5284-5286, ein analoger $\{[(\text{Tert. Butylamido})\text{dimethylsilyl}](\text{tetramethylcyclopentadienyl})\}\text{chromchlorid}$ Komplex für die Polymerisation von
- 45 Olefinen beschrieben. Dieser Komplex polymerisiert selektiv

Ethylen. Weder Comonomere, wie z.B. Hexen werden eingebaut, noch kann Propen polymerisiert werden.

Dieser Nachteil kann durch Verwendung von strukturell sehr ähnlichen Systemen überwunden werden. So beschreibt DE-A1-19710615 Donorligand-substituierte Monocyclopentadienylchrom-Verbindungen mit denen z.B. auch Propen polymerisiert werden kann. Der Donor ist hierin aus der 15. Gruppe des Periodensystems und neutral. Der Donor ist über ein $(ZR_2)_n$ -Fragment an den Cyclopentadienylring gebunden, wobei R ein Wasserstoff, Alkyl oder Aryl, Z ein Atom der 14. Gruppe des Periodensystems und $n=1$ ist. In DE-A1-19630580 wird ausgeführt, daß die Kombination $Z=\text{Kohlenstoff}$ mit einem Amindonor gute Ergebnisse liefert.

In WO-A-96/13529 werden reduzierte Übergangsmetallkomplexe der Gruppen 4 bis 6 des Periodensystems mit mehrzähligen monoanionischen Liganden beschrieben. Hierzu gehören u.a. Cyclopentadienylliganden, die bevorzugt eine, über eine $(CR_2)_p$ Brücke mit R gleich Wasserstoff oder ein Hydrocarbyl-Radikal mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen und p gleich 1 bis 4, gebundene Donorfunktion enthalten. Als Übergangsmetall ist Titan bevorzugt.

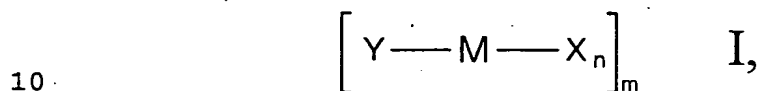
Es gibt auch Ligandsysteme, in denen die Donorgruppe rigide mit dem Cyclopentadienylrest verknüpft ist. Solche Ligandsysteme und deren Metallkomplexe werden z.B. von P. Jutzi und U. Siemeling in J. Orgmet. Chem. (1995), 500, 175-185, Abschnitt 3 zusammengefaßt. M. Enders et. al. beschreiben in Chem. Ber. (1996), 129, 459-463 8-Quinoly-substituierte Cyclopentadienylliganden und deren Titan- und Zirkontrichlorid Komplexe. 2-Picolyl-cyclopentadienyltitantrichlorid in Kombination mit Methylaluminoxan wurde von M. Blais, J. Chien und M. Rausch in Organomet. (1998), 17 (17) 3775-3783 zur Polymerisation von Olefinen eingesetzt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung bestand nun darin neue Katalysatorsysteme zu finden, die sich einfach modifizieren lassen und zur Polymerisation von α -Olefinen geeignet sind.

Demgemäß wurden substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram gefunden, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über sp^3 hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt.

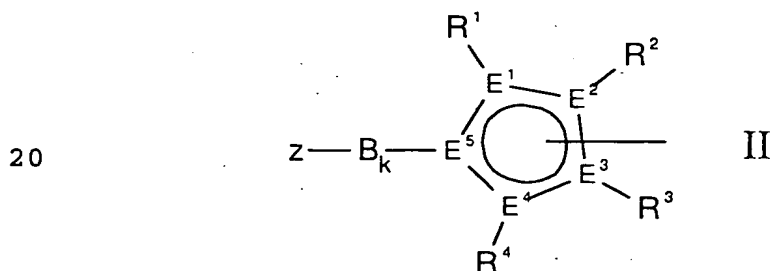
Weiterhin wurde ein Verfahren zur Polymerisation oder Copolymerisation von Olefinen gefunden, in dem man Olefine in Anwesenheit von folgenden Komponenten polymerisiert:

- 5 (A) Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I



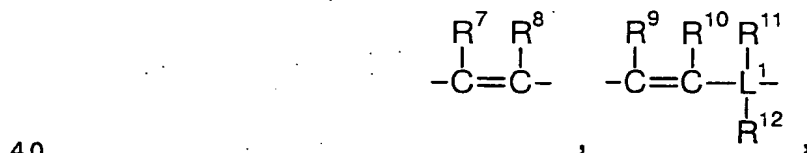
worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- 15 M Chrom, Molybdän oder Wolfram
Y durch folgende allgemeine Formel II

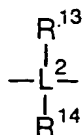


- 25 beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- E¹-E⁵ Kohlenstoff oder maximal ein E¹ bis E⁵ Phosphor oder Stickstoff,
30 Z NR⁵R⁶, PR⁵R⁶, OR⁵, SR⁵ oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,
35 B eine der folgenden Gruppen:



- 45 und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist, auch



- 5 sein kann, wobei
 L^1, L^2 Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,
 k 1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist auch 0,
10 X unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Wasserstoff, C_1 - C_{10} -Alkyl, C_2 - C_{10} -Alkenyl, C_6 - C_{20} -Aryl, Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, $NR^{15}R^{16}$, OR^{15} , SR^{15} , SO_3R^{15} ,
15 $OC(O)R^{15}$, CN , SCN , β -Diketonat, CO , BF_4^- , PF_6^- , oder sperrige nichtkoordinierende Anionen,
 R^1 - R^{16} unabhängig voneinander Wasserstoff, C_1 - C_{20} -Alkyl, C_2 - C_{20} -Alkenyl, C_6 - C_{20} -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest,
20 SiR^{17}_3 , wobei die organischen Reste R^1 - R^{16} auch durch Halogene substituiert sein können und je zwei geminale oder vicinale Reste R^1 - R^{16} auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
25 R^{17} unabhängig voneinander Wasserstoff, C_1 - C_{20} -Alkyl, C_2 - C_{20} -Alkenyl, C_6 - C_{20} -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest und je zwei geminale Reste R^{17} auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
30 n 1, 2 oder 3,
 m 1, 2 oder 3,

(B) optional einer oder mehreren Aktivatorverbindungen,

35 und

(C) optional einem oder mehreren zusätzlichen für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysatoren.

40 Des weiteren wurden Polymerisate von Olefinen, welche nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erhältlich sind, sowie Fasern, Folien und Formkörper, welche die erfindungsgemäßen Polymerisate von Olefinen enthalten, gefunden.

45 Um die Anbindung zum Cyclopentadienylring rigide zu machen, enthält die direkteste Verknüpfung zur Donorfunktion mindestens ein sp oder sp^2 hybridisiertes Kohlenstoffatom, bevorzugt mindestens

ein bis drei sp^2 hybridisiertes Kohlenstoffatom. Bevorzugt enthält die direkte Verknüpfung eine ungesättigte Doppelbindung, einen Aromaten oder bildet mit dem Donor ein partiell ungesättigtes oder aromatisches heterocyclisches System aus.

5

Der Cyclopentadienylring ist in den erfindungsgemäßen Komplexen üblicherweise η^5 an das Metallzentrum, vorzugsweise Chrom, gebunden und kann auch ein Heterocyclopentadienyl Ligand sein, d.h. das mindestens ein C-Atom auch durch ein Heteroatom aus der

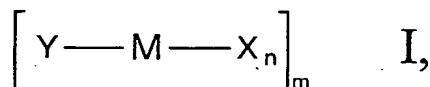
- 10 Gruppe 15 oder 16 ersetzt sein kann. In diesem Fall ist bevorzugt ein C_5 -Ring-Kohlenstoffatom durch Phosphor ersetzt. Insbesondere ist der Cyclopentadienylring mit weiteren Alkylgruppen substituiert, welche auch einen fünf oder sechsgliedrigen Ring bilden können, wie z.B. Tetrahydroindenyl, Indenyl, Benzindenyl oder
- 15 Fluorenyl.

Der Donor ist ein Element der 15. oder 16. Gruppe des Periodensystems enthaltende neutrale funktionelle Gruppe, z.B. Amin, Imin, Carboxamid, Carbonsäureester, Keton (Oxo), Ether, Thioketon,

- 20 Phosphin, Phosphit, Phosphinoxid, Sulfonyl, Sulfonamid, oder unsubstituierte, substituierte oder kondensierte, partiell ungesättigte heterocyclische oder heteroaromatische Ringsysteme.

Bevorzugt werden substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe der allgemeinen Formel I

25

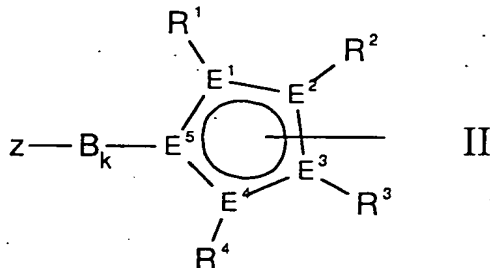


30

eingesetzt, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- M Chrom, Molybdän oder Wolfram
Y durch folgende allgemeine Formel II

35



40

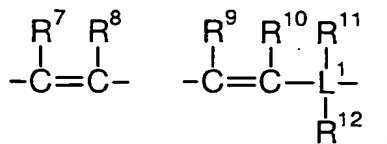
beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

45

- E^1-E^5 Kohlenstoff oder maximal ein E^1 bis E^5 Phosphor oder Stickstoff,

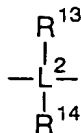
Z NR⁵R⁶, PR⁵R⁶, OR⁵, SR⁵ oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,
 B eine der folgenden Gruppen:

5



10

und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist,
 15 auch



20

sein kann, wobei

L¹, L²

Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,

k

1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist auch 0,

25 X

unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Wasserstoff, C₁-C₁₀-Alkyl, C₂-C₁₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, NR¹⁵R¹⁶, OR¹⁵, SR¹⁵, SO₃R¹⁵, OC(O)R¹⁵, CN, SCN, β-Diketonat, CO, BF₄⁻, PF₆⁻, oder sperrige nichtkoordinierende Anionen,

30

R¹-R¹⁶

unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₂₀-Alkyl, C₂-C₂₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, SiR¹⁷₃, wobei die organischen Reste R¹-R¹⁶ auch durch Halogene substituiert sein können und je zwei geminale oder vicinale Reste R¹-R¹⁶ auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,

35

R¹⁷

unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₂₀-Alkyl, C₂-C₂₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest und je zwei geminale Reste R¹⁷ auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,

40

n

1, 2 oder 3,

m

1, 2 oder 3.

45

Als Übergangsmetall M kommt insbesondere Chrom in Betracht.

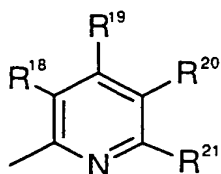
Y ist ein substituiertes Cyclopentadienylsystem, wobei der Rest -B_x-Z eine rigide gebundene Donorfunktion trägt. Der Cyclopentadienylring ist über eine η^5 -Bindung an das Übergangsmetall gebunden. Der Donor kann koordinativ gebunden oder nicht koordiniert 5 sein. Bevorzugt ist der Donor intramolekular an das Metallzentrum koordiniert.

E¹ bis E⁵ sind bevorzugt vier Kohlenstoffatome und ein Phosphoratom oder nur Kohlenstoffatome und ganz besonders bevorzugt sind 10 alle E¹ bis E⁵ gleich Kohlenstoff.

Z kann z.B. zusammen mit der Brücke B ein Amin, Ether, Thioether oder Phosphin bilden. Z kann aber auch ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, heterocyclisches aromatisches 15 Ringsystem darstellen, welches neben Kohlenstoffringgliedern Heteroatome aus der Gruppe Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und Phosphor enthalten kann. Beispiele für 5-Ring Heteroarylgruppen, welche neben Kohlenstoffatomen ein bis vier Stickstoffatome und/oder ein Schwefel- oder Sauerstoffatom als Ringglieder enthalten 20 können, sind 2-Furyl, 2-Thienyl, 2-Pyrrolyl, 3-Isloxazolyl, 5-Isloxazolyl, 3-Isothiazolyl, 5-Isothiazolyl, 1-Pyrazolyl, 3-Pyrazolyl, 5-Pyrazolyl, 2-Oxazolyl, 4-Oxazolyl, 5-Oxazolyl, 2-Thiazolyl, 4-Thiazolyl, 5-Thiazolyl, 2-Imidazolyl, 4-Imidazolyl, 5-Imidazolyl, 1,2,4-Oxadiazol-3-yl, 25 1,2,4-Oxadiazol-5-yl, 1,3,4-Oxadiazol-2-yl oder 1,2,4-Triazol-3-yl. Beispiele für 6-gliedrige Heteroarylgruppen, welche ein bis vier Stickstoffatome und/oder ein Phosphoratom enthalten können, sind 2-Pyridinyl, 2-Phosphabenzolyl 3-Pyridazinyl, 2-Pyrimidinyl, 4-Pyrimidinyl, 2-Pyrazinyl, 1,3,5-Triazin-2-yl und 30 1,2,4-Triazin-3-yl, 1,2,4-Triazin-5-yl oder 1,2,4-Triazin-6-yl. Die 5-Ring und 6-Ring Heteroarylgruppen können hierbei auch durch C₁-C₁₀-Alkyl, C₆-C₁₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-10 C-Atomen im Arylrest, Trialkylsilyl oder Halogenen, wie Fluor, Chlor oder Brom substituiert oder mit ein oder 35 mehreren Aromaten oder Heteroaromaten kondensiert sein. Beispiele für benzokondensierte 5-gliedrige Heteroarylgruppen sind 2-Indolyl, 7-Indolyl, 2-Cumaronyl, 7-Cumaronyl, 2-Thionaphthenyl, 7-Thionaphthenyl, 3-Indazolyl, 7-Indazolyl, 2-Benzimidazolyl oder 7-Benzimidazolyl. Beispiele für benzokondensierte 6-gliedrige 40 Heteroarylgruppen sind 2-Chinolyl, 8-Chinolyl, 3-Cinnolyl, 8-Cinnolyl, 1-Phthalazolyl, 2-Chinazolyl, 4-Chinazolyl, 8-Chinazolyl, 5-Chinoxalyl, 4-Acridyl, 1-Phenanthridyl oder 1-Phenazolyl. Bezeichnung und Nummerierung der Heterocyclen wurde aus L.Fieser und M. Fieser, Lehrbuch der organischen Chemie, 3. neubearbeitete 45 Auflage, Verlag Chemie, Weinheim 1957 entnommen. In einer bevorzugten Ausführungsform ist Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, heteroaromatisches Ringsystem oder NR⁵R⁶.

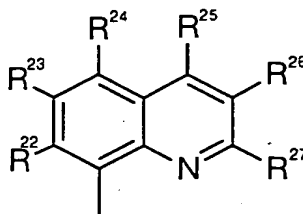
Hierbei sind einfache Systeme bevorzugt, die leicht zugänglich und billig sind und aus der folgenden Gruppe ausgewählt sind:

5



10

2-Pyridyl



8-Chinolyl

Durch geeignete Wahl der Reste R^{18} bis R^{27} kann Einfluß auf die Aktivität des Katalysators und das Molekulargewicht des entstehenden Polymeren genommen werden. Als Substituenten R^{18} bis R^{27} kommen die gleichen Reste, wie für R^1 - R^{16} beschrieben und Halogene, wie z.B. Fluor, Chlor oder Brom in Betracht, wobei gegebenenfalls auch zwei vicinale Reste R^{18} bis R^{27} zu einem 5- oder 6-gliedrigen Ring verbunden sein können und auch durch Halogene, wie Fluor, Chlor oder Brom substituiert sein können. Bevorzugte Reste R^{18} bis R^{27} sind Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, n-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, Vinyl, Allyl, Benzyl, Phenyl, Naphthyl, Biphenyl und Anthranyl, sowie Fluor, Chlor und Brom. Als Si-organische Substituenten kommen besonders Trialkylsilyl-Gruppen mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest in Betracht, insbesondere Trimethylsilyl-Gruppen. Ganz besonders bevorzugt ist Z ein unsubstituiertes oder substituiertes, z.B. alkylsubstituiertes, insbesondere in Position 8 verknüpftes Chinolyl, z.B. 8-Chinolyl, 8-(2-Methylchinolyl), 8-(2,3,4-Trimethylchinolyl), 8-(2,3,4,5,6,7-Hexamethylchinolyl). Es ist sehr einfach darstellbar und liefert gleichzeitig sehr gute Aktivitäten.

Die rigide Verbrückung B zwischen dem Cyclopentadienylring und der funktionellen Gruppe Z ist ein organisches Diradikal, bestehend aus Kohlenstoff und/oder Silizium Einheiten mit einer Kettenlänge von 1 bis 3. Durch eine Änderung der Verknüpfungslänge zwischen Cyclopentadienylring und Heteroatom-Donor kann die Aktivität des Katalysators beeinflußt werden. Da auch die Art von Z die Anzahl der verbrückenden Atome zwischen dem Cyclopentadienylrest und dem Heteroatom beeinflußt, können hier vielfältige Kombinationen von B mit Z zur Einflußnahme gewählt werden. B kann mit L^1 oder mit CR^9 an Z gebunden sein. Bevorzugt wegen der einfachen Darstellbarkeit ist die Kombination von B gleich $CH=CH$ oder 1,2-Phenylen mit Z gleich NR^5R^6 , als auch B gleich CH_2 , $C(CH_3)_2$ oder $Si(CH_3)_2$ und Z gleich unsubstituiertes oder substituiertes 8-Chinolyl oder unsubstituiertes oder substituiertes 2-Pyridyl.

Ganz besonders einfach zugänglich sind auch Systeme ohne Brücke B, bei denen k gleich 0 ist. Bevorzugtes Z ist in diesem Falle unsubstituiertes oder substituiertes Chinolyl, insbesondere 8-Chinolyl.

5

- Auch durch die Variation der Substituenten R^1 - R^{16} lassen sich verschiedene Eigenschaften des Katalysatorsystems verändern. Durch die Zahl und Art der Substituenten, insbesondere von R^1 - R^4 kann die Zugänglichkeit des Metallatoms M für die zu polymerisierenden
- 10 Olefine beeinflusst werden. So ist es möglich die Aktivität und Selektivität des Katalysators hinsichtlich verschiedener Monomere, insbesondere sterisch anspruchsvoller Monomere, zu modifizieren. Da die Substituenten auch auf die Geschwindigkeit von Abbruchreaktionen der wachsenden Polymerkette Einfluß nehmen können,
- 15 läßt sich hierdurch auch das Molekulargewicht der entstehenden Polymere verändern. Die chemische Struktur der Substituenten R^1 bis R^{16} kann daher in weiten Bereichen variiert werden, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen und ein maßgeschneidertes Katalysatorsystem zu erhalten. Als C-organische Substituenten
- 20 R^1 - R^{16} kommen beispielsweise folgende in Betracht: C_1 - C_{20} -Alkyl, wobei das Alkyl linear oder verzweigt sein kann, wie z.B. Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, n-Nonyl, n-Decyl oder n-Dodecyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, das seinerseits eine
- 25 C_6 - C_{10} -Arylgruppe als Substituent tragen kann, wie z.B. Cyclopropan, Cyclobutan, Cyclopentan, Cyclohexan, Cycloheptan, Cyclooctan, Cyclononan oder Cyclododekan, C_2 - C_{20} -Alkenyl, wobei das Alkenyl linear, cyclisch oder verzweigt sein kann und die Doppelbindung intern oder endständig sein kann, wie z.B. Vinyl,
- 30 1-Allyl, 2-Allyl, 3-Allyl, Butenyl, Pentenyl, Hexenyl, Cyclopentenyl, Cyclohexenyl, Cyclooctenyl oder Cyclooctadienyl, C_6 - C_{20} -Aryl, wobei der Arylrest durch weitere Alkylgruppen substituiert sein kann, wie z.B. Phenyl, Naphthyl, Biphenyl, Anthranyl, o-, m-, p-Methylphenyl, 2,3-, 2,4-, 2,5-, oder 2,6-Dimethyl-
- 35 phenyl, 2,3,4-, 2,3,5-, 2,3,6-, 2,4,5-, 2,4,6- oder 3,4,5-Trimethylphenyl, oder Arylalkyl, wobei das Arylalkyl durch weitere Alkylgruppen substituiert sein kann, wie z.B. Benzyl, o-, m-, p-Methylbenzyl, 1- oder 2-Ethylphenyl, wobei gegebenenfalls auch zwei R^1 bis R^{16} zu einem 5- oder 6-gliedrigen Ring verbunden sein
- 40 können und die organischen Reste R^1 - R^{16} auch durch Halogene, wie z.B. Fluor, Chlor oder Brom substituiert sein können. Als Si-organische Substituenten SiR^{17}_3 kommen für R^{17} die gleichen Reste, wie oben für R^1 - R^{16} näher ausgeführt, wobei gegebenenfalls auch zwei R^{17} zu einem 5- oder 6-gliedrigen Ring verbunden sein können,
- 45 in Betracht, wie z.B. Trimethylsilyl, Triethylsilyl, Butyldimethylsilyl, Tributylsilyl, Triallylsilyl, Triphenylsilyl oder Dimethylphenylsilyl. Bevorzugt Reste R^5 - R^{16} sind Wasserstoff,

- Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, Vinyl, Allyl, Benzyl, Phenyl, ortho Dialkyl- oder Dichlorosubstituierte Phenyle, Trialkyl- oder Trichlorosubstituierte Phenyle, Naphthyl, Biphenyl und Anthranyl. Als Si-organische Substituenten kommen besonders Trialkylsilyl-Gruppen mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest in Betracht, insbesondere Trimethylsilyl-Gruppen. Besonders bevorzugte Reste R^5 und R^6 sind Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, Allyl, Benzyl, Phenyl oder Trialkylsilyl-Gruppen. Bevorzugt sind R^1 bis R^4 Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, Benzyl oder Phenyl. In bevorzugten Übergangsmetallkomplexen ist $E^1E^2E^3E^4E^5$ zusammen mit $R^1R^2R^3R^4$ ein Mono-, wie z.B. 3-Methylcyclopentadienyl, 3-Ethylcyclopentadienyl, 3-Isopropylcyclopentadienyl, 3-tert.-Butylcyclopentadienyl, Di-, wie z.B. Tetrahydroindenyl, 2,4-Dimethylcyclopentadienyl oder 3-Methyl-5-tert.-Butylcyclopentadienyl, Tri-, wie z.B. 2,3,5-Trimethylcyclopentadienyl oder Tetraalkylcyclopentadienyl, wie z.B. 2,3,4,5-Tetramethylcyclopentadienyl. Des weiteren sind auch solche Verbindungen bevorzugt in denen zwei vicinale R^1 bis R^4 ein kondensiertes sechsgliedriges Ringsystem ausbilden, worin $E^1E^2E^3E^4E^5$ zusammen mit $R^1R^2R^3R^4$ ein unsubstituiertes oder substituiertes Indenyl, wie z.B. Indenyl, 2-Methylindenyl, 2-Ethylindenyl, 2-Isopropylindenyl, 3-Methylindenyl, 4-Phenylindenyl, 2-Methyl-4-phenylindenyl oder 4-Naphthylindenyl oder Benzindenylsystem, wie z.B. Benzindenyl oder 2-Methylbenzindenyl darstellt. In ganz besonders bevorzugten Übergangsmetallkomplexen ist $E^1E^2E^3E^4E^5$ zusammen mit $R^1R^2R^3R^4$ ein Indenyl.
- Wie auch bei den Metallocenen können die Übergangsmetallkomplexe chiral sein. So kann einerseits der Cyclopentadienylrest ein oder mehrere chirale Zentren besitzen, oder aber das Cyclopentadienylsystem selbst nur enantiotop sein, so daß erst durch dessen Bindung an das Übergangsmetall M die Chiralität induziert wird. Dies kann z.B. einfach durch zwei unterschiedliche Substituenten (der Donorsubstituent und z.B. ein Alkylrest) am Cyclopentadienylring erfolgen, um so R und S Enantiomere der Übergangsmetallkomplexe erhalten zu können (zum Formalismus der Chiralität bei Cyclopentadienylverbindungen siehe R. Halterman, Chem. Rev. 92, (1992), 965-994).

- Die Substituenten X ergeben sich z.B. durch die Auswahl der entsprechenden Metallausgangsverbindungen, die zur Synthese der Metallkomplexe verwendet werden, können aber auch nachträglich noch variiert werden. Als Substituenten X kommen insbesondere die Halogene wie Fluor, Chlor, Brom oder Jod und darunter ins-

besondere Chlor in Betracht. Auch einfache Alkylreste, wie Methyl, Ethyl, Propyl, Butyl, Vinyl, Allyl, Phenyl oder Benzyl stellen vorteilhafte Liganden X dar. Als weitere Liganden X sollen nur exemplarisch und keineswegs abschließend Trifluoracetat, 5 BF_4^- , PF_6^- sowie schwach bzw. nicht koordinierende Anionen (siehe z.B. S. Strauss in Chem. Rev. 1993, 93, 927-942) wie $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4^-$ genannt werden. Die Benennung der Liganden X als Anionen beinhaltet keine Festlegung welcher Art die Bindung zum Übergangsmetall M ist. Ist X z.B. ein nicht oder schwach koordinierendes Anion, so 10 ist die Wechselwirkung zwischen dem Metall M und dem Liganden X eher elektrostatischer Natur. Die verschiedenen Arten von Bindungen sind dem Fachmann bekannt.

Auch Amide, Alkoholate, Sulfonate, Carboxylate und β -Diketonate 15 sind besonders geeignet. Durch Variation der Reste R^{15} und R^{16} können z.B. physikalische Eigenschaften wie Löslichkeit fein eingestellt werden. Bevorzugt werden C_1 - C_{10} -Alkyl wie Methyl, Ethyl, n-Propyl, n-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, sowie Vinyl, Allyl, Benzyl und Phenyl als Reste R^{15} und R^{16} 20 verwendet. Manche dieser substituierten Liganden X werden ganz besonders bevorzugt verwendet, da sie aus billigen und einfach zugänglichen Ausgangsstoffen erhältlich sind. So ist eine besonders bevorzugte Ausführungsform, wenn X für Dimethylamid, Methanolat, Ethanolat, Isopropanolat, Phenolat, Naphtholat, Tri- 25 flat, p-Toluolsulfonat, Acetat oder Acetylacetonat steht.

Die Anzahl n der Liganden X hängt von der Oxidationsstufe des Übergangsmetall M ab. Die Zahl n kann somit nicht allgemein angegeben werden. Die Oxidationsstufe der Übergangsmetalle M in katalytisch aktiven Komplexen, sind dem Fachmann zumeist bekannt. 30 Chrom, Molybdän und Wolfram liegen sehr wahrscheinlich in der Oxidationsstufe +3 vor. Es können jedoch auch Komplexe eingesetzt werden, deren Oxidationsstufe nicht der des aktiven Katalysators entspricht. Solche Komplexe können dann durch geeignete 35 Aktivatoren entsprechend reduziert oder oxidiert werden. Bevorzugt werden Chromkomplexe in der Oxidationsstufe +3 verwendet.

Der Donor Z kann an das Übergangsmetall M koordinativ gebunden sein. Dies ist inter- oder intramolekular möglich. Bevorzugt ist 40 der Donor Z intramolekular an M koordinativ gebunden. Dies kann sich jedoch im Verlauf der Polymerisation ändern.

Der Übergangsmetallkomplex der Formel I kann als monomere, dimere oder trimere Verbindung vorliegen, wobei 1 dann 1, 2 oder 3 ist. 45 Dabei können z.B. ein oder mehrere Liganden X zwei Metallzentren M verbrücken.

- Bevorzugte Komplexe sind z.B. 1-(8-Chinoly1)-2-methyl-4-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-3-isopropyl-5-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-3-tert.butyl-5-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid,
- 5 1-(8-Chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)tetrahydroindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)indenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-2-methylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-2-isopropylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-2-ethylindenyl-
- 10 chrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-2-tert.butylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)benzindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinoly1)-2-methylbenzindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2-methyl-4-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))tetrahydroindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))indenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2-methylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2-isopropylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2-
- 15 ethylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2-tert.butylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinoly1))benzindenylchrom(III)dichlorid oder 1-(8-(2-Methylchinoly1))-2-methylbenzindenylchrom(III)dichlorid.
- 25 Die Herstellung funktioneller Cyclopentadienyl-Liganden ist seit langer Zeit bekannt. Verschiedene Synthesewege für diese Komplexe-liganden werden z.B. von M. Enders et. al. in Chem. Ber. (1996), 129, 459-463 oder P. Jutzi und U. Siemeling in J. Orgmet. Chem. (1995), 500, 175-185 beschrieben.
- 30 Die Metallkomplexe, insbesondere die Chromkomplexe, lassen sich auf einfache Weise erhalten, wenn man die entsprechenden Metallsalze wie z.B. Metallchloride mit dem Ligandanion umsetzt (z.B. analog zu den Beispielen in DE 197 10615).
- 35 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Polymerisation von Olefinen läßt sich mit allen technisch bekannten Polymerisationsverfahren bei Temperaturen im Bereich von 20 bis 300°C und unter Drücken von 5 bis 4000 bar kombinieren. Die vorteilhaften Druck- und
- 40 Temperaturbereiche zur Durchführung des Verfahrens hängen demgemäß stark von der Polymerisationsmethode ab. So lassen sich die erfindungsgemäß verwendeten Katalysatorsysteme in allen bekannten Polymerisationsverfahren, also beispielsweise in Hochdruck-Polymerisationsverfahren in Rohrreaktoren oder Autoklaven, in
- 45 Suspensions-Polymerisationsverfahren, in Lösungs-polymerisationsverfahren oder bei der Gasphasenpolymerisation einsetzen. Bei den Hochdruck-Polymerisationsverfahren, die üblicherweise bei Drücken

zwischen 1000 und 4000 bar, insbesondere zwischen 2000 und 3500 bar, durchgeführt werden, werden in der Regel auch hohe Polymerisationstemperaturen eingestellt. Vorteilhafte Temperaturbereiche für diese Hochdruck-Polymerisationsverfahren liegen zwischen 200 und 280°C, insbesondere zwischen 220 und 270°C. Bei Niederdruck-Polymerisationsverfahren wird in der Regel eine Temperatur eingestellt, die mindestens einige Grad unter der Erweichungstemperatur des Polymerisates liegt. Insbesondere werden in diesen Polymerisationsverfahren Temperaturen zwischen 50 und 180°C, vorzugsweise zwischen 70 und 120°C, eingestellt. Bei den Suspensionspolymerisationen wird üblicherweise in einem Suspensionsmittel, vorzugsweise in einem Alkan polymerisiert. Die Polymerisationstemperaturen liegen i.a. im Bereich von -20 bis 115°C, der Druck i.a. im Bereich von 1 bis 100 bar. Der Feststoffgehalt der Suspension liegt i.a. im Bereich von 10 bis 80 %. Es kann sowohl diskontinuierlich, z.B. in Rührautoklaven, als auch kontinuierlich, z.B. in Rohrreaktoren, bevorzugt in Schleifreaktoren, gearbeitet werden. Insbesondere kann nach dem Phillips-PF-Verfahren, wie in der US-A 3 242 150 und US-A 3 248 179 beschrieben, gearbeitet werden. Von den genannten Polymerisationsverfahren ist erfindungsgemäß die Gasphasenpolymerisation, insbesondere in Gasphasenwirbelschicht-Reaktoren, die Lösungspolymerisation, sowie die Suspensionspolymerisation, insbesondere in Schleifen- und Rührkesselreaktoren, besonders bevorzugt. Die Gasphasenpolymerisation kann auch in der sogenannten condensed, supercondensed oder superkritischen Fahrweise durchgeführt werden. Die verschiedenen oder auch gleichen Polymerisationsverfahren können auch wahlweise miteinander in Serie geschaltet sein und so eine Polymerisationskaskade bilden. Weiterhin kann zur Regelung der Polymereigenschaften auch ein Zusatz, wie z.B. Wasserstoff in den Polymerisationsverfahren verwendet werden.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich verschiedene olefinisch ungesättigte Verbindungen polymerisieren, wobei dies auch die Copolymerisation umfaßt. Im Gegensatz zu einigen bekannten Eisen- und Cobaltkomplexen zeigen die erfindungsgemäß eingesetzten Übergangsmetallkomplexe eine gute Polymerisationsaktivität auch mit höheren α -Olefinen, so daß ihre Eignung zur Copolymerisation besonders hervorzuheben ist. Als Olefine kommen dabei neben Ethylen und α -Olefinen mit 3 bis 12 Kohlenstoffatomen, wie z.B. Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen, 1-Nonen, 1-Decen oder 1-Dodecen auch interne Olefine und nicht-konjugierte und konjugierte Diene wie Butadien, 1,5-Hexadien oder 1,6-Heptadien, cyclische Olefine wie Cyclohexen, Cyclopenten oder Norbornen und polare Monomere wie Acrylsäureester, Acrolein, Acrylnitril, Vinylether, Allylether und Vinylacetat in Betracht. Auch vinylaromatische Verbindungen wie Styrol lassen sich nach

dem erfindungsgemäßen Verfahren polymerisieren. Bevorzugt wird mindestens ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Ethen, Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen und 1-Decen polymerisiert. Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß man als Monomere Gemische von Ethylen mit C_3 - bis C_{12} - α -Olefinen einsetzt. Anders als bei einigen Eisen- und Cobaltverbindungen können auch höhere α -Olefine mit dem erfindungsgemäßen Katalysatorsystem sehr gut polymerisiert werden. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten und 1-Octen polymerisiert. Insbesondere diese letztgenannten Olefinen können in verflüssigtem oder flüssigem Zustand auch das Lösungsmittel in der Polymerisation- und Copolymerisationsreaktion bilden.

Die erfindungsgemäßen Metallkomplexe sind für sich teilweise nicht oder wenig polymerisationsaktiv und werden dann mit einem Aktivator, der Komponente (B), in Kontakt gebracht um gute Polymerisationsaktivität entfalten zu können. Als Aktivatorverbindungen kommen beispielsweise solche vom Alumoxantyp in Betracht, insbesondere Methylalumoxan MAO. Alumoxane werden z.B. durch kontrollierte Addition von Wasser oder wasserhaltigen Substanzen zu Alkylaluminiumverbindungen, insbesondere Trimethylaluminium, hergestellt. Als Co-Katalysator geeignete Alumoxan-Zubereitungen sind kommerziell erhältlich. Es wird angenommen, daß es sich hierbei aus einer Mischung von cyclischen und linearen Verbindungen handelt. Die cyclischen Alumoxane können durch die Formel $(R^{28}AlO)_s$ und die linearen Aluminosiloxane durch die Formel $R^{28}(R^{28}AlO)_sAlR^{28}_2$ zusammengefaßt werden, wobei s den Oligomerisationsgrad angibt und eine Zahl von ungefähr 1 bis 50 ist. Vorteilhafte Alumoxane enthalten im wesentlichen Alumoxan-Oligomere mit einem Oligomerisationsgrad von etwa 1 bis 30 und R^{28} ist bevorzugt ein C_1 - C_6 -Alkyl und besonders bevorzugt Methyl, Ethyl, Butyl oder Isobutyl.

Neben den Alumoxanen können als Aktivatorkomponenten auch solche eingesetzt werden, wie sie in der sogenannten kationischen Aktivierung der Metallocen-Komplexe Verwendung finden. Derartige Aktivatorkomponenten sind z.B. aus EP-B1-0468537 und aus EP-B1-0427697 bekannt. Insbesondere können als solche Aktivatorverbindungen (B) Borane, Boroxine oder Borate, wie z. B. Trialkylboran, Triarylboran, Trimethylboroxin, Dimethylaniliniumtetraarylborat, Trityltetraarylborat, Dimethylaniliniumboratabenzole oder Tritylboratabenzole (siehe WO-A-97/36937) eingesetzt werden. Besonders bevorzugt werden Borane oder Borate eingesetzt, welche mindestens zwei perfluorierte Arylreste tragen. Als beson-

ders geeignete Aktivatorverbindung (B) werden Verbindung aus der Gruppe Aluminoxan, Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat, Trityltetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Tris(pentafluorophenyl)boran verwendet.

5

Auch Aktivatorverbindungen mit stärker oxidierenden Eigenschaften sind einsetzbar, wie z.B. Silberborate, insbesondere Silber-tetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Ferroceniumborate, insbesondere Ferroceniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Ferroceniumtetra-
10 phenylborat.

Weiterhin können als Aktivatorkomponente Verbindungen wie Aluminiumalkyle, insbesondere Trimethylaluminium, Triethylaluminium, Triisobutylaluminium, Tributylaluminium, Dimethylaluminiumchlorid, Dimethylaluminiumfluorid, Methylaluminiumdichlorid, Methylaluminiumsesquichlorid, Diethylaluminiumchlorid oder Aluminiumtri-
15 fluorid eingesetzt werden. Auch die Hydrolyseprodukte von Aluminiumalkylen mit Alkoholen können eingesetzt werden (siehe z.B. WO-A-95/10546).

20

Als Aktivatorverbindungen können des weiteren auch Alkylverbindungen von Lithium, Magnesium oder Zink verwendet werden, wie z.B. Methylmagnesiumchlorid, Methylmagnesiumbromid, Ethylmagnesiumchlorid, Ethylmagnesiumbromid, Butylmagnesiumchlorid, Dimethyl-
25 magnesium, Diethylmagnesium, Dibutylmagnesium, Methyl-lithium, Ethyllithium, Methylzinkchlorid, Dimethylzink oder Diethylzink.

Manchmal ist es wünschenswert eine Kombination von verschiedenen Aktivatoren zu verwenden. Dies ist z.B. bei den Metallocenen bekannt, bei denen Borane, Boroxine (WO-A-93/16116) und Borate oft
30 in Kombination mit einem Aluminiumalkyl eingesetzt werden. Generell ist auch eine Kombination von verschiedenen Aktivatorkomponenten mit dem erfindungsgemäßen Übergangsmetallkomplex möglich.

35 Die Menge der zu verwendenden Aktivatorverbindungen hängt von der Art des Aktivators ab. Generell kann das Molverhältnis Metallkomplex (A) zu Aktivatorverbindung (B) von 1:0.1 bis 1:10000 betragen, bevorzugt werden 1:1 bis 1:2000. Das Molverhältnis von Metallkomplex (A) zu Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)-
40 borat, Trityltetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Tris(pentafluorophenyl)boran liegt zwischen 1:1 und 1:20, bevorzugt zwischen 1:1 und 1:15, und besonders bevorzugt zwischen 1:1 und 1:5, zu Methylaluminoxan bevorzugt zwischen 1:1 und 1:2000 und besonders bevorzugt zwischen 1:10 und 1:1000. Da viele der Aktivatoren, wie
45 z.B. Aluminiumalkyle gleichzeitig zur Entfernung von Katalysatorgiften verwendet werden (sogenannte scavenger), ist die eingesetzte Menge von der Verunreinigung der übrigen Einsatzstoffe ab-

hängig. Der Fachmann kann jedoch durch einfaches Probieren die optimale Menge bestimmen.

Der Übergangsmetallkomplex kann dabei entweder vor oder nach
5 Kontaktierung mit den zu polymerisierenden Olefinen mit der oder
den Aktivatorverbindungen in Kontakt gebracht werden. Auch eine
Voraktivierung mit ein oder mehreren Aktivatorverbindungen vor
der Durchmischung mit dem Olefin und weitere Zugabe der gleichen
oder anderer Aktivatorverbindungen nach Kontaktierung dieses Ge-
10 misches mit dem Olefin ist möglich. Eine Voraktivierung erfolgt
in der Regel bei Temperaturen zwischen 10-100°C, bevorzugt zwi-
schen 20-80°C.

Auch kann mehr als einer der erfindungsgemäßen Übergangsmetall-
15 komplexe gleichzeitig mit dem zu polymerisierenden Olefin in Kon-
takt gebracht werden. Dies hat den Vorteil, daß so ein weiter Be-
reich an Polymeren erzeugt werden kann. Auf diese Weise können
z.B. bimodale Produkte hergestellt werden.

20 Ein ebenfalls breites Produktspektrum kann durch Verwendung der
erfindungsgemäßen Komplexe in Kombination mit mindestens einem
für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysator (C) er-
reicht werden. Als Katalysatoren (C) kommen hierbei besonders
klassische Ziegler Natta Katalysatoren auf der Basis von Titan,
25 klassische Phillips Katalysatoren auf der Basis von Chromoxiden,
Metallocene, die sogenannten constrained geometry Komplexe (siehe
z.B. EP-A-0416815 oder EP-A-0420436), Nickel und Palladium Bisi-
min-Systeme (zu deren Darstellung siehe WO-A-98/03559), Eisen und
Cobalt Pyridinbisimin-Verbindungen (zu deren Darstellung siehe
30 WO-A-98/27124) oder Chromamide (siehe z.B. 95JP-170947) verwendet
werden. So können auch durch derartige Kombinationen z.B.
bimodale Produkte hergestellt oder in situ Comonomer erzeugt wer-
den. Bevorzugt wird hierbei mindestens ein Übergangsmetallkomplex
(A) in Gegenwart von mindestens einem für die Polymerisation von
35 Olefinen üblichen Katalysator (C) und gewünschtenfalls ein oder
mehreren Aktivatorverbindungen (B) verwendet. Hierbei sind je
nach Katalysatorkombinationen (A und C) ein oder mehrere
Aktivatoren vorteilhaft. Die Polymerisationskatalysatoren (C)
können ebenfalls geträgert sein und gleichzeitig oder in einer
40 beliebigen Reihenfolge mit dem erfindungsgemäßen Komplex (A)
verwendet werden.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren (A) können optional auch auf
einem organischen oder anorganischen Träger immobilisiert und in
45 geträgerter Form in der Polymerisation verwendet werden. Dies ist
eine gängige Methode, um Reaktorablagerungen zu vermeiden und die
Polymermorphologie zu steuern. Als Trägermaterialien werden

bevorzugt Kieselgel, Magnesiumchlorid, Aluminiumoxid, mesoporöse Materialien, Aluminosilikate und organische Polymere wie Polyethylen, Polypropylen oder Polystyrol und insbesondere Kieselgel oder Magnesiumchlorid verwendet.

- 5 Die Aktivatorverbindungen (B) und der Metallkomplex (A) können mit dem Träger in verschiedenen Reihenfolgen oder gleichzeitig in Kontakt gebracht werden. Dies wird in der Regel in einem inerten Lösungsmittel durchgeführt, das nach der Immobilisierung ab-
- 10 filtriert oder verdampft werden kann. Auch die Verwendung des noch feuchten, geträgerten Katalysators ist aber möglich. So kann zuerst die Mischung des Trägers mit dem oder den Aktivatorverbindungen oder auch zuerst das Kontaktieren des Trägers mit dem Polymerisationskatalysator erfolgen. Auch eine Voraktivierung des
- 15 Katalysators mit einer oder mehreren Aktivatorverbindungen vor der Durchmischung mit dem Träger ist möglich. Die Menge an Metallkomplex (A) (in mmol) pro Gramm Trägermaterial kann stark variieren z.B. zwischen 0.001 bis 1. Die bevorzugte Menge an Metallkomplex (A) pro Gramm Trägermaterial liegt zwischen 0.001
- 20 und 0.5 mmol/g, und besonders bevorzugt zwischen 0.005 und 0.1 mmol/g. In einer möglichen Ausführungsform kann der Metallkomplex (A) auch in Anwesenheit des Trägermaterials hergestellt werden. Eine weitere Art der Immobilisierung ist auch die Vor-
- 25 Trägerung. polymerisation des Katalysatorsystems mit oder ohne vorherige

- Durch das erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Polymerisate von Olefinen darstellen. Der Begriff Polymerisation, wie er zur Beschreibung der Erfindung hier verwendet wird, umfaßt sowohl
- 30 Polymerisation als auch Oligomerisation, d.h. Oligomere und Polymere mit Molekulargewichten im Bereich von etwa 56 bis 4000000 können durch diese Verfahren erzeugt werden.

- Auf Grund ihrer guten mechanischen Eigenschaften eignen sich die
- 35 mit den erfindungsgemäßen Komplexen hergestellten Polymerisate und Copolymerisate von Olefinen vor allem für die Herstellung von Folien, Fasern und Formkörpern. Dies gilt sowohl für die Polymerisate und Copolymerisate, die man durch Verwendung von einem oder mehreren der erfindungsgemäßen substituierten Monocyclopent-
- 40 tadie-nyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram erhält, als auch für die Kombinationen von diesen mit ein oder mehreren für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysatoren (C).

- 45 Die erfindungsgemäßen Katalysatoren zeigen sehr gute Produktivitäten. Vergleicht man die Ergebnisse von DE-A-19710615, so findet man, vor allem unter Polymerisationsbedingungen, die

industriell relevant sind (eine Stunde Polymerisationszeit) bessere (druckgemittelte) Aktivitäten.

Unerwarteterweise zeichnen sich die erfindungsgemäßen Komplexe 5 auch durch gute thermische Stabilität aus. Sie sind z.B. über einen Zeitraum von mehreren Stunden in Toluol unzersetzt am Rückfluß erhitzbar.

Die folgenden Beispiele erläutern die Erfindung:

10

Alle Arbeiten wurden, falls nicht anders vermerkt, unter Luft- und Feuchtigkeitsausschluß durchgeführt. Toluol und THF wurden über eine Molekularsiebsäule oder Natrium/Benzophenon getrocknet und abdestilliert. Triisobutylaluminium (2 M in Heptan) wurden 15 von der Firma Witco, MAO (Methylaluminoxan 10% in Toluol) und N,N'-Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat von der Firma Albemarle und MAO (Methylaluminoxan 30% in Toluol) von der Firma Witco GmbH erhalten.

20 Nachfolgend genannte Ausgangsverbindungen wurden nach den zitierten Literaturvorschriften dargestellt:

- 8-Bromchinolin

25 a) J. Mirek, Roczniki Chem. 1960, 34, 1599-1606;
b) E. Reimann in Houben-Weil, Methoden der Organischen Chemie, 4. Aufl., Band E7a, 366

- 8-Brom-2-methylchinolin: C. M. Leir, J. Org. Chem. 1977, 42, 911 - 913

30

- 2,3,4,5-Tetramethylcyclopent-2-enon: F.X. Kohl, P. Jutzi, J. Organomet. Chem. 1983, 243, 119 - 121

- 2,3-Dimethylcyclopent-2-enon

35 a) M. Dorsch, V. Jäger, W. Spönlein, Angew. Chem. 1984, 96, 815 - 16; Angew. Chem., Int. Ed. Engl. 1984, 23, 798;
b) M. Dorsch, Dissertation Universität Würzburg, 1985

40 - 1-(8-Chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien und
1-(8-Chinoly1)-(2,3,4,5-tetramethyl)trimethylsilylcyclopentadien: M. Enders, R. Rudolph, H. Pritzkow Chem. Ber. (1996), 129, 459-463.

Analytik

45

NMR-Proben wurden unter Inertgas abgefüllt und gegebenenfalls eingeschmolzen. Als interner Standard dienten in den ^1H - und ^{13}C -NMR-Spektren die Lösungsmittelsignale, deren chemische Verschiebung auf TMS umgerechnet wurde. NMR-Messungen wurden an einem
 5 Bruker AC 200 und, insbesondere COSY-Experimente, an einem Bruker AC 300 durchgeführt.

Massenspektren wurden an einem VG Micromass 7070 H und einem Finnigan MAT 8230 gemessen. Hochaufgelöste Massenspektren wurden an
 10 den Geräten Jeol JMS-700 und VG ZAB 2F gemessen.

Elementaranalysen wurden an einem Heraeus CHN-O-Rapid bestimmt.

Der Comonomergehalt des Polymeren ($\%C_6$), dessen Methylseitenket-
 15 tengehalt pro 1000 C-Atome der Polymerkette ($\text{CH}_3/1000$) und dessen Dichte wurde durch IR Spectroskopie bestimmt.

Der η Wert wurde mit einem automatischen Ubbelohde Viskometer (Lauda PVS 1) mit Dekalin als Lösungsmittel bei 130 °C bestimmt
 20 (ISO1628 bei 130°C, 0,001 g/ml Decalin).

Die Bestimmung der Molmassenverteilungen und der daraus abgeleiteten Mittelwerte M_n , M_w und M_w/M_n erfolgte mittels Hochtemperatur-Gelpermeations-chromatographie in Anlehnung an DIN 55672
 25 unter folgende Bedingungen: : Lösungsmittel: 1,2,4-Trichlorbenzol, Fluß: 1ml/min, Temperatur: 140°C, Kalibrierung mit PE Standards.

Verwendete Abkürzungen:

30

Cp	Cyclopentadienyl
Me	Methyl
Ph	Phenyl
Kat.	Katalysator (der erfindungsgemäße Übergangsmetallkomplex)
35 get. Kat.	geträgerter Katalysator
T	Temperatur während der Polymerisation
t	Zeitdauer der Polymerisation
p	Druck während der Polymerisation
Mw	Gewichtsmittel des Molekulargewichts
40 Mn	Zahlenmittel des Molekulargewichts
Tm	Schmelztemperatur
η	Staudingerindex (Viskosität)
Dichte	Polymerdichte
$\text{CH}_3/1000$	Anzahl der Methylseitenketten pro 1000 C-Atomen
45 $\%C_6$	Comonomergehalt des Polymeren in Gew.-%
THF	Tetrahydrofuran
MAO	Methylaluminoxan

Allgemeine Synthesevorschrift:

Ligandsynthesen:

- 5 8-Bromchinolin bzw. N,N-Dimethylanilin wurde mit einer äquimolaren Menge n-BuLi versetzt und anschließend mit Tetramethylcyclopentenon bzw. 1-Indanon umgesetzt. Nach Hydrolyse und säurekatalysierter Wasserabspaltung wurde der entsprechende Ligand isoliert (Ausbeuten zwischen 40 und 70 %).

10

Komplexsynthesen:

- Die Ligandanionen wurden durch Deprotonierung mit n-BuLi bzw. Kaliumhydrid hergestellt und mit dem entsprechenden Metall-
- 15 halogenid umgesetzt. Die Reinigung erfolgte durch Umfällen oder Umkristallisieren (Ausbeuten in der Regel ca. 60%).

Beispiel 1.

- 20 1.1. Darstellung von 1-(2-N,N-Dimethylaminophenyl)2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien

- Zu 30.0 g (0.25 mol) N,N-Dimethylanilin wurden bei 0°C 80.0 ml (0.20 mmol) n-BuLi in Hexan 2.5 M langsam zugetropft. Dann wurde
- 25 das Gemisch 52 Stunden am Rückfluß erhitzt. Nachdem die orange Lösung auf Raumtemperatur gekommen war, wurden langsam 27.6 g (0.20 mol) Tetramethylcyclopentenon und nochmals 48 h am Rückfluß gesiedet. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurde die orange Suspension auf Eis gegossen und mit konz. Salzsäure auf pH = 2
- 30 gebracht. Die rote Lösung wurde 30 Minuten nachgerührt und mit konz. Ammoniaklösung alkalisch gemacht. Die organische Phase wurde von der wäßrigen getrennt und die wäßrige Phase mit Diethylether extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen wurden getrocknet und das Lösungsmittel im Vakuum abgezogen. Das
- 35 Rohprodukt wurde im Vakuum über eine 10 cm Vigreuxkolonne bei 110-115 °C /10⁻² mbar destilliert und so 14.2 g 1-(2-N,N-Dimethylaminophenyl)2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien (30 %) als orange farbenes Öl erhalten.

- 40 1.2. Darstellung von Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III)

- Eine Lösung von 1.66 mmol Lithium 1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl in 20 ml THF (aus 0.4 g
- 45 der entsprechenden Cyclopentadienverbindung (1.66 mmol) und 0.66 ml 2.5M BuLi in Hexan (1.66 mmol)) wurde bei Raumtemperatur zu einer Suspension von 0.6 g CrCl₃(THF)₃ (1.66 mmol) in 50 ml THF

mit einer Transferkanüle über ein Septum langsam zugetropft. Das Reaktionsgemisch wurde 12 Stunden gerührt und anschließend alle flüchtigen Bestandteile aus der blaugrünen Suspension im Hochvakuum entfernt. Der zurückbleibende Feststoff wurde in Toluol aufgenommen und filtriert. Nach mehrmaligem Extrahieren des Frittenrückstands mit heißem Toluol wurde das Lösungsmittel aus den vereinigten Extrakten entfernt. Das erhaltene blaugüne Pulver wurde mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet. Kristalle des Produktes konnten aus einer Toluollösung bei -30°C erhalten werden. 0.47 g (79 %) Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) wurden isoliert.

MS (EI): m/z (%) = 362 (10, M^+); 326 (100, $\text{M}^+ - \text{HCl}$); 311 (72, $\text{M}^+ - \text{HCl}, -\text{CH}_3$); 290 (14, $\text{M}^+ - 2 \text{HCl}$); 241 (32, $\text{CpMe}_4(\text{PhNMe}_2)\text{H}^+$); 224 ($\text{CpMe}_4(\text{PhNMe}_2)^+ - \text{CH}_3, -\text{H}$); 209 ($\text{CpMe}_4(\text{PhNMe}_2)^+ - 2\text{CH}_3, -\text{H}$); 120 (10, N,N-Dimetylanilin $^+$)

Beispiel 2.

Darstellung von Bis{[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]dicarbonylchrom(I)}

Chromhexacarbonyl (1.14 g, 5.17 mmol) wurde in 50 ml n-Decan suspendiert und 0.8 g 1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien (3.45 mmol) zugegeben. Nach langsamem Erwärmen auf 200°C und Sieden am Rückfluß, entstand eine schwarzbraune Suspension. Danach wurde das n-Decan im Vakuum (5×10^{-1} mbar, 60°C) entfernt, der Rückstand in Dichlormethan aufgenommen und auf eine Säule (12 cm, Al_2O_3 , 5 % H_2O) aufgetragen. Es wurde mit Dichlormethan eine einzige, grüne Fraktion eluiert. Nach Entfernen des Lösungsmittels im Hochvakuum wurden 0.52 g Bis{[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]-dicarbonylchrom(I)} (22%) erhalten.

$^1\text{H-NMR}$: (200 MHz, CD_2Cl_2) δ = 1.64, 1.88 (s, 24 H, Cp-CH_3); 2.26 (s, 12 H, N-CH_3); 6.88 (d, 2 H, CHAr); 7.00 (t, 2 H, CHAr); 7.15-7.21 (m, 2 H, CHAr); 7.53 (d, 2 H, CHAr).

$^{13}\text{C-NMR}$: (50 MHz, CD_2Cl_2) δ = 9.74, 10.22 (Cp-CH_3); 29.69 101.07 (Cp , q); 42.68 (N-CH_3); 124.8, 101.3 (CAr , q); 117.6, 120.8, 128.15, 135.98 (CAr , t).

MS (EI): m/z (%) = 669 (78, $\text{M}^+ - \text{CO}, +\text{H}$), 584 (52, $\text{M}^+ - 4 \text{CO}$), 290 (100, $\text{M}^+ / 2 - 2\text{CO} - 2\text{H}$), 241 (20, $\text{CpMe}_4(\text{PhNMe}_2)^+$)

FT-IR: (CH_2Cl_2) ν (cm^{-1}) = 1849.5 (vs, $\nu_{\text{M-C=O}}$), 1875.5 (m, $\nu_{\text{M-C=O}}$)

Beispiel 3.

Photochemische Darstellung von Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylamino-phenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III)

Eine Lösung von 0.15 g Bis{[1-(2-N,N-dimethylaminophe-
5 nyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]-dicarbonyl-chrom (I)}
(0.21 mmol) in 50 ml Dichlormethan wurde 48 Stunden mit einer
Quecksilberhochdrucklampe bestrahlt. Man beobachtete eine Farb-
änderung der anfangs grünen Lösung nach blau. Nach beendeter Be-
strahlung wurde das Reaktionsgemisch im Vakuum eingeeengt und bei
10 Raumtemperatur mit Hexan überschichtet. Aus der Hexanschicht kri-
stallisierten blaue Nadeln aus. Die EI-massenspektroskopische
Analyse dieser ergab, daß es sich um den Komplex
Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclo-
pentadienyl]chrom(III) (0.05 g, 32 %) handelte.

15

Beispiel 4.

Darstellung von 1-[2-(N,N-Dimethylaminophenyl)]inden

20 Zu 18 g N,N-Dimethylanilin (0.14 mmol) wurde bei Raumtemperatur
unter Rühren 36 ml n-BuLi (2.5 M in Hexan, 0.09 mmol) zugetropft.
Nach beendeter Zugabe wurde 72 Stunden bei 100°C am Rückfluß ge-
siedet. Es entstand eine gelbe Suspension, in die unter Eis-
kühlung 11.8 g 1-Indanon (0.09 mmol) in 30 ml THF zugetropft
25 wurde. Dann wurde erneut drei Stunden am Rückfluß gekocht. Nach
Abkühlen auf Raumtemperatur wurde Eis und dann Salzsäure bis pH 1
zugegeben und 30 Minuten gerührt. Anschließend wurde mit
Ammoniaklösung neutralisiert und nochmals eine halbe Stunde ge-
rührt. Die Phasen wurden getrennt, die wäßrige mit Diethylether
30 extrahiert, die vereinten organischen Phasen getrocknet, fil-
triert und im Vakuum zur Trockene eingeeengt. Als Rohprodukt fiel
die Hydroxyverbindung an, die durch nochmalige Behandlung mit
Salzsäure bis pH = 0, zwei Stunden Erhitzen am Rückfluß und an-
schließender Neutralisation und Destillation bei 125°C/ 7x10⁻²
35 mbar 3.1 g 1-[2-(N,N-Dimethylaminophenyl)]inden (14 %) als brau-
nes Öl lieferte.

MS (EI): m/z (%) = 235 (M⁺, 100.0), 220 (M⁺ - CH₃, 52).

40 Beispiel 5.

Synthese von 1-(8-Chinoly1)-2,3-dimethylcyclopentadien

5 ml n-BuLi (2.5 M in Hexan, 12.5 mmol) wurden bei -95°C zu einer
45 Lösung von 2.5 g 8-Bromchinolin (12 mmol) in 120 ml THF zuge-
tropft, 15 Minuten gerührt und anschließend 1.3 g 2,3-Dimethylcy-
clopent-2-enon (12 mmol), gelöst in 10 ml THF, zugegeben. Nach

Erwärmen auf Raumtemperatur wurde die Lösung eine Stunde am Rückfluß erhitzt. Die abgekühlte Reaktionsmischung wurde mit Eis hydrolysiert, mit Salzsäure angesäuert und dann mit Ammoniaklösung neutralisiert. Die wäßrige Phase wurde mit Diethylether 5 extrahiert und die vereinigten organischen Phasen werden getrocknet. Nach Destillation bei 150°C/ 0.05 mbar wurden 1.1 g 1-(8-Chinoly1)-2,3-dimethylcyclopentadien (40 %) als gelbes, viskoses Öl erhalten.

- 10 ¹H-NMR: (200 MHz, CDCl₃) δ = 1.90 (s, 3H, CH₃); 2.03 (s, 3H, CH₃); 3.59 (m, 2H, CH₂); 6.19 (s, 1H, CH); 7.32 - 7.73 (m, 4H, Chinolin-H); 8.13 (dd, 1H); 8.89 (dd, 1H).
- 13C-NMR: (50 MHz, CDCl₃) δ = 12.4, 14.1 (CH₃); 44.4 (CH₂); 120.5, 125.8, 126.3, 127.1, 129.8, 135.9, 149.4 (CH); 128.5, 135.9, 139.1, 140.0, 143.8, 146.8 (quart. C).
- 15 MS (EI): m/z (%) = 221 (86) [M⁺]; 220 (100) [M⁺ -H]; 206 (31) [M⁺ -CH₃]; 191 (9) [M⁺ -2CH₃].

Beispiel 6.

20

Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) aus 1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]Kalium

- 25 Es wurden 0.06 g Kaliumhydrid (1.61 mmol) in 20 ml THF vorgelegt und 0.4 g 1-(8-Chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien (1.61 mmol) unter Rühren zugegeben. Nach drei Stunden Rühren schied sich ein roter Feststoff aus der Lösung ab. Diese Suspension wurde mit einer Transferkanüle in eine Mischung aus 0.6 g
- 30 CrCl₃(THF)₃ in 20 ml THF bei Raumtemperatur überführt. Nach 16 Stunden rühren, wurde das THF im Hochvakuum entfernt und der Feststoff in Toluol aufgenommen. Das unlösliche Kaliumchlorid wurde abgetrennt. Das Lösungsmittel wurde entfernt, der Rückstand mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet. Das Produkt
- 35 wurden 0.4 g grünes Pulver in 70% Ausbeute isoliert.

MS (EI): m/z (%) = 370 (12, M⁺); 334 (19, M⁺-Cl); 249 (99, Me₄C₅(Chinolin)⁺-H)

HR-EI-MS: 370.02213 (ber.), 370.02203 (gem.).

40

Beispiel 7.

- Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) aus 1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethyl
- 45 trimethylsilylcyclopentadien

Es wurden 0.08 g $\text{CrCl}_3(\text{THF})_3$ (0.23 mmol) in 20 ml Toluol suspendiert und 0.08 g 1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethyl-trimethylsilylcyclopentadien (0.23 mmol) zugegeben. Das Reaktionsgemisch wurde drei Stunden am Rückfluß erhitzt und nach weiteren 16 Stunden Rühren bei Raumtemperatur das Toluol im Hochvakuum abdestilliert. Das erhaltene grüne Pulver wurde mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet.

MS (EI): m/z (%) = 370 (12, M^+); 334 (19, $\text{M}^+ - \text{Cl}$); 249 (99, $\text{Me}_4\text{Cp}(\text{Chinolin})^+ - \text{H}$)

Beispiel 8.

1-(8-Chinoly1)indenylchrom(III)dichlorid

8.1. Darstellung von 1-(8-Chinoly1)inden

8-Bromchinolin (10.4 g, 50 mmol) wurde in 100 ml THF vorgelegt und auf etwa -100°C gekühlt. 20 ml n-BuLi (2.5M in Hexan, 50 mmol) wurden zugetropft, wobei die Innentemperatur unter -80°C gehalten wurde. Nach beendeter Zugabe wurde weitere 15 min bei -80°C gerührt und dann 6.6 g 1-Indanon (50 mmol), gelöst in 30 ml THF, zugetropft. Danach ließ man das Reaktionsgemisch langsam auf Raumtemperatur kommen und erhitze dann 3 h unter Rückfluß. Nachdem die Mischung auf Raumtemperatur abgekühlt war, wurde zunächst Eis und dann Salzsäure bis etwa pH 1 zugegeben und 30 min gerührt. Wäßrige und organische Phase wurden getrennt, die wäßrige Phase mit Ammoniaklösung bis etwa pH 9 versetzt, mit Ether extrahiert und die vereinigten organischen Phasen anschließend im Vakuum zur Trockene eingengt. Das so erhaltene viskose Öl (1-(8-Chinoly1)-indan-1-ol ($8\text{H}_2\text{O}$)) wurde mit Salzsäure bis pH 0 versetzt, 2 Stunden unter Rückfluß erhitzt und anschließend neutralisiert. Nach Aufarbeiten und Trocknen wurden 6.6 g 1-(8-Chinoly1)inden (55%) als farbloser Feststoff isoliert.

1-(8-Chinoly1)-indan-1-ol ($8\text{H}_2\text{O}$)

$^1\text{H-NMR}$: (200 MHz, CDCl_3) δ = 2.58 - 2.87 (m, 3H, CH_2); 6.94 (dd, 1H, Chinolin CH); 7.24 - 7.36 (m, 4H, CH); 7.44 - 7.50 (m, 2H, H_3 , H_6); 7.70 (dd, 1H, Chinolin CH); 8.23 (dd, 1H); 8.66 (s, br, 1H, OH); 8.92 (dd, 1H).

$^{13}\text{C-NMR}$: (200 MHz, CDCl_3) δ = 30.2, 44.8 (CH_2); 87.2 (COH); 120.8, 124.7, 125.1, 126.4, 126.9, 127.2, 127.5, 128.2, 137.9, 147.7 (CH); 127.4, 129.2, 142.6, 143.8, 146.7 (quart. C).

1-(8-Chinoly1)inden

Smp.: 108°C .

¹H-NMR: (200 MHz, CDCl₃) δ = 3.69 (d, 2H, CH₂); 6.80 (t, 1H, =CH);
7.12 - 7.26 (m, 3H); 7.41 (dd, 1H); 7.55 - 7.64 (m, 2H);
7.81 - 7.88 (m, 2H); 8.21 (dd, 1H); 8.92 (dd, 1H).

¹³C-NMR: (50 MHz, CDCl₃) δ = 38.8 (CH₂); 121.0, 121.2, 123.8,
124.5, 125.8, 126.3, 127.8, 130.0, 133.5, 136.1, 150.0
(CH); 128.6, 135.9, 143.7, 144.0, 145.6, 146.7 (quart. C).

MS (EI): m/z (%) = 243 (65) [M⁺]; 242 (100) [M⁺-H].

HR-MS (EI): 243.1048 (ber.), 243.1038 (gef.).

10

C,H,N-Analyse: ber.: 88.86% C, 5.39% H, 5.75% N
gef.: 87.55% C, 5.52% H, 5.92% N.

8.2. Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III):

15

In 20 ml THF wurden 0.05 g Kaliumhydrid (1.23 mmol) suspendiert und 0.3 g 1-(8-Chinolyl)inden (1.23 mmol) langsam zugegeben. Die so erhaltene violette Suspension wurde nach dreistündigem Rühren bei Raumtemperatur zu einer Mischung von 0.46 g Chrom(III)chloridx3THF (1.23 mmol) in 50 ml THF getropft und nach beendeter Zugabe noch 16 Stunden gerührt. Das Lösungsmittel wurde im Vakuum entfernt und der so erhaltene Feststoff mit heißem Toluol extrahiert. Nach Abdestillieren des Solvens aus den vereinten Extrakten fiel das Produkt als grünes Pulver an, das mehrmals mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet wurde. 0.22 g Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III) (50%) wurden erhalten.

20

25

Alternativ konnte der Rückstand auch in Methylenchlorid aufgenommen werden und nach Abtrennung von Kaliumchlorid und Entfernen des Lösungsmittels wurde ebenfalls der Chromkomplex erhalten.

30

MS (EI): m/z (%) = 364 (0.2, M⁺); 329 (0.1, M⁺-Cl); 242 (100, Ind(Chinolin)⁺)

35 HR-EI-MS: 363.97519 (ber.), 363.97615 (gem.)

Beispiel 9.

9.1. Darstellung von 1-(8-Chinolyl)-2-methylinden

40

Zu 3.50 g o-Bromchinolin (16.8 mmol) gelöst in 50 ml THF wurden bei 100°C 6.70 ml n-BuLi (16.8 mmol) zugetropft und anschließend bei 80°C 15 Minuten gerührt. Dann wurde eine Lösung aus 50 ml THF und 2.45 g 2-Methyl-1-indanon (16.8 mmol) innerhalb von 10 Minuten dem lithiierten Bromchinolin zugefügt. Man ließ auf Raumtemperatur kommen und siedete die Lösung drei Stunden am Rückfluß. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurde mit Eis und Salzsäure auf

45

pH 1 angesäuert und anschließend 3 Stunden am Rückfluß gekocht. Man stellte das Reaktionsgemisch mit Ammoniaklösung auf pH 9 ein und extrahierte die wässrige Phase mit Diethylether. Die vereinigten organischen Phasen wurden getrocknet und das Lösungsmittel entfernt. Die Reinigung des Rohprodukts erfolgte durch Destillation im Vakuum bei 150-160°C 10⁻² mbar. 1.5 g 1-(8-Chinoly-2-methylinden (45 %) wurden als ein gelbes zähes Harz erhalten.

10 9.2. Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinoly-2-methylindenyl)]chrom(III)

1-(8-Chinoly-2-methylinden (0.3 g, 1.16 mmol) wurden unter Eiskühlung zu einer Suspension von 0.04 g Kaliumhydrid (1.16 mmol) in 10 ml THF getropft. Dann wurde auf Raumtemperatur erwärmt und drei Stunden gerührt. Die tief violette Lösung wurde bei -30°C zu CrCl₃(THF)₃ in 20 ml THF getropft. Nach beendeter Zugabe wurde die Reaktionsmischung aufgewärmt, das Lösungsmittel im Vakuum entfernt, der Rückstand mit warmem Toluol extrahiert und ausgefallenes Kaliumchlorid abfiltriert. Nach Entfernen des Solvens im Hochvakuum wurden 0.35 g Dichloro-[1-(8-chinoly-2-methylindenyl)]chrom (III) (79 %) als ein grünes Pulver erhalten.

Beispiel 10.

25 10.1. Darstellung von 1-(2-Methyl-8-chinoly-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien

Eine Lösung von 4.4 g 8-Brom-2-methylchinolin (20 mmol) in 50 ml THF wurde auf -78°C gekühlt und 8.8 ml n-BuLi (2.5 M in Hexan, 22 mmol) unter Rühren zugetropft. Nach 10 min Rühren wurden 3.5 g 2,3,4,5-Tetramethylcyclopentenon (25 mmol) zugetropft, die Lösung auf Raumtemperatur erwärmt und eine Stunde unter Rückfluß erhitzt. Die Lösung wurde abgekühlt, Eis und Salzsäure bis etwa pH 1 zugegeben, und nach Neutralisieren mit Ammoniaklösung wurden die Phasen getrennt und die wässrige Phase mit Pentan extrahiert. Nach Trocknen der vereinigten organischen Extrakte wurde das Pentan im Vakuum entfernt, und das verbleibende braune Öl im Hochvakuum destilliert (Sdp.: 115°C / 0.01 mbar).

40 1-(2-Methyl-8-chinoly-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien wurde als gelbes, viskoses Öl in 60 % Ausbeute (3.2 g) erhalten.

1H-NMR: (200 MHz, CDCl₃) δ = 6a: 1.55 (s, 6H); 1.78 (s, 6H); 2.64 (s, 3H); 5.53 (s, 1H); 6.84 (dd, 1H); 7.12 - 7.50 (m, 3H); 7.90 (d, 1H).

27

6b: 0.71 (d, $^3J(\text{H,H}) = 7.6 \text{ Hz}$, 3H); 1.82 (s, 3H); 1.87 - 1.88 (m, 6H); 2.58 (s, 3H); 4.20 (m, 1H); 7.09 - 7.55 (m, 4H); 7.89 (d, 1H).

5 ^{13}C -NMR: (50 MHz, CDCl_3) δ = 6a: 11.2, 11.3 (CH_3); 25.6 (Chinolin CH_3); 56.3 (allyl CH); 121.3, 125.7, 126.4, 130.5, 136.2 (chinolin CH), 135.6, 138.9, 139.0, 1412.8, 147.0, 157.4 (quart. C).

10 6b: 12.0, 12.2, 13.0, 14.2 (CH_3); 25.7 (Chinolin CH_3); 52.1 (allyl CH); 121.4, 125.0, 125.3, 125.8, 136.0 (Chinolin CH); 126.7, 126.8, 131.2, 134.6, 138.4, 142.7, 146.7, 157.8 (quart. C).

15 MS (EI): m/z (%) = 263 (85) [M^+]; 262 (100) [$\text{M}^+ - \text{H}$]; 248 (98) [$\text{M}^+ - \text{CH}_3$]; 232 (20) [$\text{M}^+ - \text{H} - 2\text{CH}_3$]; 218 (10) [$\text{M}^+ - 3\text{CH}_3$].

HR-MS (EI): 263.1674 (ber.), 263.1647 (gef.)

10.2. Darstellung von Dichloro \pm [1-(2-Methyl-8-chinoly- 20 ly)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III)

Es wurden 0.3 g 1-(2-Methyl-8-chinoly)-2,3,4,5-tetramethyl-cyclopentadien (1.14 mmol) in 30 ml THF mit 0.45 ml n-Butyllithium (2.5M in Hexan, 1.14 mmol) deprotoniert. Nach zwei Stunden Rühren tropfte man die rote Lösung zu einer Suspension aus Chrom(III)chlorid in 20 ml THF. Nach 16 Stunden Rühren bei Raumtemperatur wurden die Solventien abkondensiert und der so erhaltene Rückstand in 20 ml Toluol aufgenommen. Die grüne Suspension wurde filtriert und der Rückstand mehrmals mit heißem Toluol extrahiert. Nach üblicher Aufarbeitung fiel das Produkt als grünes Pulver (0.22 g) in 50 % Ausbeute an.

35 MS (EI): m/z (%) = 384 (54, M^+); 348 (100, $\text{M}^+ - \text{Cl}$); 263 (62, $\text{M}^+ - 2\text{Cl} - \text{Cr} + 2\text{H}$); 248 (49, $\text{M}^+ - 2\text{Cl} - \text{Cr} - \text{CH}$).

HR-EI-MS: 384.03778 (ber.), 384.03775 (gem.).

Beispiele 11 bis 27

40 Polymerisation mit Ethen

Die in Tabelle 1 aufgeführten Polymerisationsbeispiele wurden bei einem Ethendruck von 1 bar in einem 50 bzw. 250 ml Kolben mit Überdruckventil durchgeführt.

28

Die Komplexe wurden in der jeweiligen Menge Toluol suspendiert und mit der entsprechenden Menge Methylaluminoxan aktiviert, worauf sich homogene violette Lösungen bildeten. Ethen wurde dann unter Rühren übergeleitet. Das Reaktionsgefäß wurde mit einem Wasserbad bei der angegebenen Temperatur gehalten. Nach Beendigung der Polymerisation wurden die erhaltenen Polymere mit salzsaurem Methanol zehn Minuten gerührt. Das Polyethylen fiel als weißer Feststoff an, der abfiltriert, mit Methanol gewaschen und bei 90°C getrocknet wurde.

10

In den Beispielen 11 bis 16 wurde der Komplex aus Beispiel 1: Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in den Beispielen 17 bis 20 der Komplex aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) und in den Beispielen 21 bis 27 der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinoly1)indenyl]chrom(III) verwendet.

20

25

30

35

40

45

Tabelle 1: Polymerisation von Ethen

Bsp.	Menge Kat. [mmol]/[mg]	T [°C]	t [min]	PE [g]	Toluol [ml]	Aktivität [kg/molCr.h]	Al:Cr	M _w [g/mol]	M _w /M _n	T _m [°C]	η [dl/g]
11	0.11/40	21	30	2.45	30	44.5	1000:1			106	
12	0.027/10	21	20	2.08	30	85.0	100:1			125-129	
13	0.0027/1	21	30	1.82	30	1398	1000:1				
14	0.0054/2	21	30	3.66	30	1392	1000:1	0.4 • 10 ⁵	24.5	128	0.27
15	0.0054/2	21	30	3.62	30	1407	1000:1				
16	0.0054/2	21	30	10.20	200	3715	1000:1				
17	0.067/25	21	30	0.85	30	25.4	100:1			125	
18	0.027/10	21	30	5.00	30	1370	1000:1			122-125	
19	0.0027/1	21	45	4.97	30	2365	1000:1			126-130	
20	0.0027/1	21	30	1.62	30	1237	1000:1		5.58	127	1.87
21	0.013/5	21	10	1.35	30	623	100:1	115159	7.63	132	2.84
22	0.0054/2	21	15	1.38	30	1027	1000:1				
23	0.0054/2	21	30	10.20	200	3715	1000:1	221176	47.3	125-130	3.16
24	0.0054/2	120	15	0.90	200	666	1000:1				
25	0.0054/2	120	30	1.06	200	314	1000:1				
26a)	0.0054/2	120 21	15 +15	1.70	200	633	1000:1				
27	00.0054/2	21	30	1.79	30	1325	1000:1	219141	2.17	130-135	2.16

a) Die Polymerisation wurde erst 15 Minuten bei 120°C und dann 15 Minuten bei 21°C durchgeführt

Beispiel 28.

Copolymerisation von Ethen mit 1-Hexen unter Verwendung von
5 1-(8-Chinoly1)indenylchrom(III)dichlorid als Katalysator.

Der Versuch wurde analog den Beispielen 11 bis 27 in Anwesenheit von 10 ml 1-Hexen durchgeführt. 2 mg (0.0054 mmol) Chromkomplex aus Beispiel 8 in 100 ml Toluol wurden hierbei verwendet. Das
10 Verhältnis Al:Cr betrug 1000:1. Die Polymerisation wurde nach 30 Minuten abgebrochen. Es wurde 3.09 g Copolymer isoliert. Dies entspricht einer Aktivität von 1144 g Polymer/(mmol·bar·h).

Beispiele 29 bis 51

15

Polymerisation von Ethen und Copolymerisation von Ethen mit 1-Hexen

Die Polymerisationsversuche wurden in einem mit Kontaktthermometer, Rührer mit Teflonblatt, Heizpilz und Gaseinleitungsrohr versehenen 11-Vierhalskolben durchgeführt. Unter Argon wurde jeweils zwischen 5 bis 20 µmol der Komplexe in 250 ml Toluol bei 40°C vorgelegt.

25 Bei der Aktivierung mit MAO wurde jeweils die in Tabelle 2 angegebene Menge 1,6 M MAO Lösung in Toluol zugegeben.

Bei der Aktivierung mit Borat wurde die in Tabelle 2 angegebene Menge an DMAB (Dimethylanilinium-tetrakis(pentafluorophenyl)borat) zugegeben, auf 70°C erhitzt und anschließend mit
30 TiBAL (Triisobutylaluminium) versetzt. Die Lösung wurde danach auf 40°C abgekühlt und dann ca. 20 bis 40 l/h Ethylen bei Atmosphärendruck für eine Stunde durchgeleitet. Bei den Copolymerisationsversuchen wurden vor der Ethylenzugabe 5ml Hexen vorgelegt und
35 anschließend Ethylen durchgeleitet. Die Restmenge an Hexen wurde innerhalb von 15 min über einer Tropftrichter zudosiert.

Die Reaktion wird durch Zugabe eines Gemisches aus 15 ml konzentrierter Salzsäure und 50 ml Methanol abgestoppt und 15 min nach-
40 gerührt. Nach Zugabe von weiteren 250 ml Methanol und 15 min rühren, wurde abfiltriert, dreimal mit Methanol gewaschen und bei 70°C getrocknet. In Tabelle 2 sind die Polymerisations- bzw. Produktdaten zusammengefaßt.

45 In Beispiel 29 wurde der Komplex aus Beispiel 1:
Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in den Beispielen 30 bis 34 der Komplex

aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in den Beispielen 35 bis 45 der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinoly1)indenyl]chrom(III), in den Beispielen 46 bis 49 der Komplex aus Beispiel 9:

5 Dichloro-[1-(8-chinoly1)-2-methylindenyl]chrom(III) und in den Beispielen 50 bis 51 der Komplex aus Beispiel 10:

Dichloro±[1-(2-Methyl-8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III). verwendet.

10

15

20

25

30

35

40

45

Tabelle 2: Polymerisations- bzw. Produktdaten der Beispiele 29 bis 51

Bsp.	Menge Kat. [mg] (μmol)	MAO [mmol]	Al:Cr	Cr:B	Hexen [ml]	T [°C]	Aktivität [kg/ molCr·h]	Ausbeute [g] ([min])	Dichte [g/ cm^3]	η [dl/g]	M_w [g/mol]	M_n [g/mol]	M_w/M_n	% C ₆	m.p. [°C]	CH ₃ / 1000C
29	5,46 (15)	5,3	350	-	-	40	246	3,7 (60')	-	15,2	-	-	-	-	-	-
30	5,56 (15)	5,3	350	-	-	40	946	14,2 (60')	-	1,74	103001	14733	6,99	-	-	-
31	7,1 (19)	6,7	350	-	30	40	2620	24,9 (30')	0,919	0,88	36139	10900	3,32	8,7	113,7	15,9
32	3,4 (9,1)	-	80	1:1,4	20	40	4560	8,3 (12')	0,914	4,05	350022	120280	2,91	5,4	116,6	10,2
33	5,0 (13,5)	8	595	-	30	40	2230	30,0 (60')	0,927	0,82	21400	8824	2,43	6,7	113,7	13,6
34	2,1 (5,6)	-	280	1:1,7	30	40	904	5,1 (60')	0,919	2,52	127045	31311	4,06	4,3	117,6	8,9
35	5,5 (15)	5,3	350	-	-	35	107	1,6 (60')	-	22,5	-	-	-	-	-	-
36	6,1 (16,7)	8,5	510	-	30	60	1400	23,4 (60')	0,881	2,15	132567	49540	2,68	20	61,3	37,1
37	5,8 (15,8)	8	500	-	30	-	1020	16,1 (60')	0,884	6,40	740298	224534	3,3	13	90,9	23,5
38	2,3 (6,3)	3,15	500	-	30	52	873	5,5 (60')	0,904	11,6	-	-	-	5,9	120	12-
39	1,2 (3,3) ⁰⁾	6,2	1870	-	30	40	9700	32 (15')	0,9053	11,8	-	-	-	6,4	99,7	12,6
40	1,9 (5,2)	3,0	570	-	30	40	6165	16 (30')	0,9021	10,1	-	-	-	7,3	97,0	20,5
41	2 (5,4)	2,7	500	-	30	40	4440	12 (30')	0,9014	10,5	-	-	-	7,8	106,4	14,1
42	3,6 (9,8)	4,9	500	-	-	40	1470	7,2 (30')	0,9042	8,92	-	-	-	6,0	111,6	10,0
43	2,5 (6,8)	3,4	500	-	-	40	4765	8,1 (15')	0,9377	10,2	-	-	-	-	142,6	>1
44	1,9 (5,2)	0,78	150	1:2,2	-	40	385	2,0 (60')	0,931	26,9	-	-	-	-	138,6	>1

Bsp.	Menge Kat. [mg] (μ mol)	MAO [mmol]	Al:Cr	Cr:B	Hexen [ml]	T [°C]	Aktivität [kg/ molCrh]	Ausbeute [g] (min)	Dichte [g/ cm ³]	η [dl/g]	M _w [g/mol]	M _n [g/mol]	M _w / M _n	% C ₆	m.p. [°C]	CH ₃ / 1000C
45	2,05 (5,5)	19,4	3520	-	-	40	2180	6,0 (30')	0,9302	9,56	-	-	-	-	137,4	>1
46	2,0 (5,4)	5,4	1000	-	-	25	1000	1,37 (15')	-	5,78	-	-	-	-	-	-
47	2,0 (5,4)	5,4	1000	-	-	25	670	0,7 (15')	-	11,75	-	-	-	-	-	>1
48	2,80 (7,4)	3,7	500	-	30	40	460	1,7 (30')	0,907	11,8	-	-	-	3,7	110,5	7,6
49	3,6 (9,5)	150	150	1:2	30	40	190	0,9 (30')	0,9027	19,4	-	-	-	4,0	110,4	4,9
50	2,0 (5,2)	5,2	1000	-	-	25	410	1,1 (15')	-	1,13	-	-	-	-	-	-
51	2,1 (5,4)	5,4	1000	-	-	25	670	1,8 (30')	-	1,21	-	-	-	-	-	-

a) Der Komplex wurde in 1 ml 4.8 molare MAO in Toluol gelöst und mit 3 ml Toluol verdünnt, anschließend zum 250 ml Toluol im Autoklaven für die Polymerisation zugegeben

Beispiele 52 bis 56.

Autoklaven Coolymerisationen von Ethylen mit 1-Hexen

5

In einem 1-l-Stahlautoklaven wurden die in Tabelle 3 angegebenen MAO Mengen (1.6 M in Toluol), 300 ml Toluol und 50 ml Hexen vorgelegt. Der Autoklav wurde auf die in Tabelle 3 angegebene Temperatur gebracht und der in Toluol gelöste Katalysator mit

10 Ethylen über eine Schleuse zudosiert, so daß der gewünschte Ethylendruck gleichzeitig eingestellt wurde.

Die Daten zu den Polymerisationsbedingungen und den Produkteigenschaften können aus Tabelle 3 entnommen werden.

15

In den Beispielen 52 bis 54 wurde der Komplex aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinoly)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in Beispiel 55 der Komplex aus Beispiel 1: Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl] chrom(III) und in Beispiel 56 der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinoly)indenyl]chrom(III) verwendet.

25

30

35

40

45

Tabelle 3: Polymerisations- bzw. Produktdaten der Beispiele 52 bis 56

Bsp.	Menge Kat. [mg] ([mol])	MAO [mmol]	Al:Cr	T (p) [°C] ([bar])	Produkt- tivität [g/g get. Kat]	Aktivität [kg/molCr·h]	Ausbeute [g] ([min])	Dichte [g/cm ³]	η [dl/cm ³]	% C ₆	CH ₃ /1000C
52	1.4* (4)	0.765	190	60 (40)	24290	108470	34 (5')	0.9257	11.0	1.3	3.1
53	0.195 (0.5)	0.765	1530	70 (20)	246150	1832000	48 (3')	0.9304	5.32	0.8	2.5
54	1.130 (0.35)	0.765	2170	70 (10)	251280	336000	49 (25')	0.9294	3.02	1	2.8
55	0.5 (1.37)	0.765	550	80 (40)	74000	270070	37 (6')	0.9498	1.41	1.1	2.2
56	1.2 (3.3)	0.765	230	70 (20)	15830	115150	19 (3')	0.9195	12.05	~0.8	2.3

*Der Komplex wurde als Pulver eingeschossen.

Beispiel 57 bis 60.

Polymerisation von Propen

5

Die entsprechenden Chromkomplexe wurden in 30 ml Toluol suspendiert und mit der entsprechenden Menge MAO (Tabelle 4) in einem Stickstoffkolben versetzt. Das Propen wurde bei Raumtemperatur mit einem Gasdruck von 1 bar über ein Gaseinleitungsrohr in das

10 Reaktionsgemisch eingeleitet. Nach der Reaktion wurde das Rohprodukt mit salzsaurem Methanol auf pH 1 gebracht. Nach Trocknung der organischen Phase erhielt man die Polymere als farblose Feststoffe.

15 In Beispiel 57 wurde der Komplex aus Beispiel 1:

Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in Beispiel 58 der Komplex aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinoly1)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) und in den Beispielen 59 bis 60 der Komplex aus
20 Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinoly1)indenyl]chrom(III) verwendet. Die Polymerisationsdaten können der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Polymerisationsdaten der Beispiele 57 bis 60

25	Bsp.	Menge Kat. [mmol]/[mg]	t [min]	Ausbeute [g]	Aktivität [g PP/mmol Kat. h bar]	Al:Cr
	57	0.09/33	90	0.53	3.92	100:1
	58	0.005/2	120	1.20	111	100:1
30	59	0.0054/2	240	1.06	50	1000:1
	60	0.016/6	90	0.36	15	100:1

Das Polypropylen aus Beispiel 60 ist wie folgt charakterisiert:

35 M_w : 82024; M_n : 7197; M_w/M_n : 11.4; Viskosität η : 0.53.

Beispiel 61.

Polymerisation von 1-Hexen

40

Der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinoly1)indenyl]chrom(III) (2 mg, 5.4 μ mol) wurde mit 10 ml 1-Hexen suspendiert und mit 5.4 mmol Methylaluminoxan (1.6 M in Toluol) in einem 50 ml Stickstoffkolben versetzt und 24 Stunden bei Raum-
45 temperatur gerührt. Nach Beendigung der Polymerisation wurde das Reaktionsgemisch mit salzsaurem Methanol auf pH 1 eingestellt und

die organische Phase im Vakuum getrocknet. Der Komplex ist in der Lage Hexen zu polymerisieren.

Beispiel 62 und 63

5

Polymerisation von Ethen in Anwesenheit von H_2

Die Polymerisationen wurden analog den Beispielen 29 bis 51 durchgeführt. Zusätzlich wurde H_2 bei Atmosphärendruck mit ca. 10 1/h durchgeleitet. In Beispiel 62 wurde Ethen in Anwesenheit von dem Komplex aus Beispiel 6 (5,2 mg) und Methylalumoxan (Al:Cr = 350:1) bei 40°C für 25 min polymerisiert. Es konnten 7g PE erhalten werden. Dies entspricht einer Aktivität von 1200 g PE/mmolCr·h. Das Polymer besaß eine Dichte von 0,9426 g/cm³ und eine 15 Viskosität von 5,51 dl/g.

In Beispiel 63 wurde der Komplex aus Beispiel 8 (6 mg) mit Methylaluminoxan (Al:Cr = 500:1) bei 40°C verwendet. Nach 15 min Polymerisationszeit konnten 1,2 g PE isoliert werden. Dies ent- 20 spricht einer Aktivität von 350 g PE/mmolCr·h. Das Polymer besaß eine Dichte von 0,9296 g/cm³ und eine Viskosität von 17,9 dl/g.

Beispiel 64 (Vergleichsversuch)

25 Dichloro-[(2-Dicyclohexylphosphinoethyl)cyclopentadienyl]chrom wurde entsprechend DE 197 106 15 dargestellt. 3,1 mg dieses Komplexes wurden analog der Beispiele 62 und 63 mit Methylaluminoxan (Al:Cr = 350:1) bei 40°C mit einem Ethen/ H_2 Gemisch kontaktiert. Es konnte keine Polymerisation beobachtet werden (der 30 Komplex war ohne H_2 polymerisationsaktiv mit einer Aktivität von 125 g PE/mmol/Cr·h unter ansonsten gleichen Bedingungen.

Beispiele 65-81: Trägerung auf Kieselgel

35 Als Kieselgel wurde ES70X der Firma Crossfield verwendet.

Beispiel 65

Zu 233 mg Dichloro-[1-8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopenta- 40 dienyl]chrom(III)·LiCl teilweise gelöst in 40 ml Toluol wurden 18,8 ml MAO (30 Gew.-% in Toluol) (50 mmol) gegeben und 15 Minuten bei Raumtemperatur gerührt. Dann wurden 8,2 g Kieselgel (130°C calciniert) zum Reaktionsgemisch zugegeben und die so erhaltene Suspension 3 Stunden bei Raumtemperatur gerührt. Dann wurde der 45 Feststoff abfiltriert und anschließend zweimal mit Heptan gewaschen. Der so isolierte Feststoff wurde im Vakuum getrocknet.

Ausbeute 17,5 g geträgerter Katalysator. Die Beladung beträgt 70 μmol pro g Träger, mit Al:Cr der Einsatzstoffe von 150:1.

Beispiel 66

5

Die Trägerung aus Beispiel 65 wurde mit 2,21 g des Kieselgels, 68,1 Dichloro-[1-(8-chinoly)indenyl]chrom-KCl, 5 g MAO (30 Gew.-% in Toluol) und 10 ml Toluol durchgeführt. Man erhielt 4,8 g geträgerten Katalysator mit einer Beladung von 70 μmol Cr pro g Träger (Al:Cr = 150:1).

Beispiel 67

80,2 mg Dichloro-[1-(8-chinoly)indenyl]chrom-KCl wurde n 4,8 ml MAO (30 Gew.-% in Toluol) (Cr:Al = 1:120) und 0,3 ml Toluol gelöst. Nach 15 min Rühren wurde die Lösung langsam unter Rühren zu 2,6 g des Kieselgels getropft. Nach einer Stunde Rühren wurde das Lösungsmittel im Vakuum entfernt. Man erhielt 4,7 g des geträgerten Katalysators mit einer Beladung von 70 μmol Cr pro g Träger.

Beispiel 68

In eine Rührapparatur wurden 5,3 g des Kieselgels (6 h/130°C/Vakuum) eingefüllt.

In einem Kolben wurden nacheinander 140,1 mg Dichloro-[1-(8-chinoly)indenyl]chrom-KCl (318 mmol \cong 60 μmol Cr pro g Träger) und 85,7 mg Bis(n-Butylcyclopentadienyl)zirkondichlorid (212 mmol \cong 40 μmol Cr pro g Träger) eingewogen. Dazu wurden 63,6 mmol MAO (13,4 ml 4,75 M in Toluol = 30 Gew.-%) gegeben und 30 Minuten bei Raumtemperatur gerührt (Al:Cr = 120:1)

Diese Lösung wurde nun in ca. 10 Min. gleichmäßig unter langsamen Rühren über den Tropftrichter zum Träger eindosiert. Mittels eines Teflonschlauches wurde die Lsg. dabei direkt auf den Träger getropft. Es wurde 1 h bei Raumtemperatur nachgerührt und anschließend weitere 2 h bei Raumtemperatur stehen gelassen.

Dann wurde unter Vakuum das Lösungsmittel entfernt. Man erhielt 9,2 g des geträgerten Katalysators

Beispiele 69-81

Die Polymerisationen wurden in einem 10l-Rührautoklaven durchgeführt. Unter Stickstoff wurde bei Raumtemperatur Putzalkyl gemäß Tabelle 5 in den Autoklaven gegeben, dann wurden 4 l Isobutan

einkondensiert. Danach wurde unter Rühren auf 70°C erwärmt und anschließend die in Tabelle 5 angegebene Einwaage des geträgerten Katalysators mit einem Ethylenüberdruck eingepresst. Dann wurde der Reaktordruck mit Ethylen auf einen Enddruck von 40 bar erhöht und die Polymerisation 60 Minuten weitergeführt (mit Ausnahme von Beispiel 73, das 90 min weitergeführt wurde).

Die Reaktion wurde durch Entspannen des Reaktors beendet und die Produkte ausgetragen. In der Tabelle 5 sind die Polymerisations- bzw. Produktdaten zusammengefasst.

15

20

25

30

35

40

45

Tabelle 5

Bsp.	Kat. (Bsp.)	Einwaage [mg]	Ausbeute [g PE]	Aktivität [kg PE/ molCr]	n [dl/g]	Dichte [g/cm ³]	Putzalkyl ^{b)} [mg]
69	65	637	500	780	16,68	0,9346	200 Tibal
70	65	631	500	790	13,18	0,9363	200 ATE
71	65	640	580	900	19,29	0,9343	50 Dealox
72	65	513	550	1100	15,45	0,9354	50 Buli
73	65	592	850	1400	15,83	0,9358	80 Buli
74	65	680	550	800	21,88	0,9348	100 DEAC
75	65	600	600	1000	16,65	0,9365	80 TEB
76	65	670	800	1200	16,8	0,9367	130 Bomag
77	66	586	500	900	42,14	0,927	80 Buli
78	66	650	750	1200	52,97	0,9265	130 Bomag
79	67	833	900	1100	48,74	0,9261	80 Buli
80	68	140	1200	8600 ^{a)}	7,68	0,9495	80 Buli
81	68	135	1100	8100 ^{a)}	5,84	0,9466	130 Bomag

a) hier bezieht sich die Aktivität auf kg PE/mol (Cr+Zr)

b) Tibal (Triisobutylaluminium), ATE (Aluminiumtriethyl), Dealox (Tetraethyldialuminiumoxan), Buli (Butyllithium), DEAL (Diethylaluminiumchlorid), TEB (Triethylboran), Bomag (Butyloctylmagnesium)

Beispiel 82

4,2 mg Dichloro-[1-(8-chinolylyl)idenyl]chrom (11,5 μmol) und 7,1 mg
5 [1,3,5-Tri 5/2-Ethylhexyl)-1,3,5-triazacyclohexan]chromtrichlorid
(darstellbar analog zu Köhn et. al, Angew. Chem. Int. d. Engl.
1994, 33, Seite 1877-1878) wurden in 250 ml Toluol gelöst. Es
wurde auf 40°C erwärmt und 3,4 ml MAO (15,4 mmol; 4,75 M in
Toluol) zugegeben (Al:Cr = 650:1).

10

In diese Lösung wurde bei 40°C ein Ethylenstrom durchgeleitet.
Nach 15 Min wurde die Polymerisation abgebrochen. Man erhielt
10,4 g Polymer und 2,97 g einer C_6 bis $>\text{C}_{20}$ flüssigen Fraktion.
Das Polymer hatten eine Dichte von 0,9212 g/cm^3 und eine Viskosi-
15 tät von 10,8 dl/g.

20

25

30

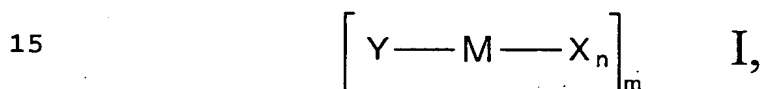
35

40

45

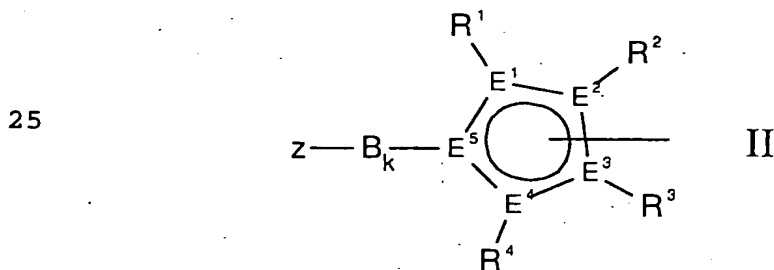
Patentansprüche

1. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über sp^3 hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt.
2. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I



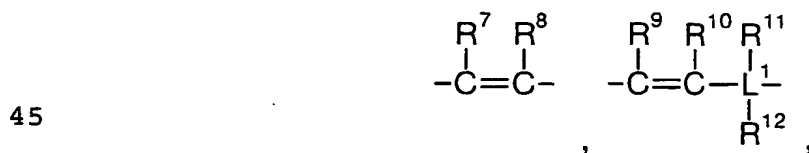
worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- M Chrom, Molybdän oder Wolfram
Y durch folgende allgemeine Formel II

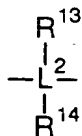


beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- E^1-E^5 Kohlenstoff oder maximal ein E^1 bis E^5 Phosphor oder Stickstoff,
Z NR^5R^6 , PR^5R^6 , OR^5 , SR^5 oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,
B eine der folgenden Gruppen:

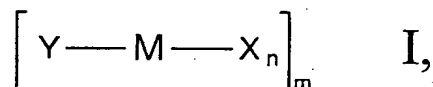


und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist, auch



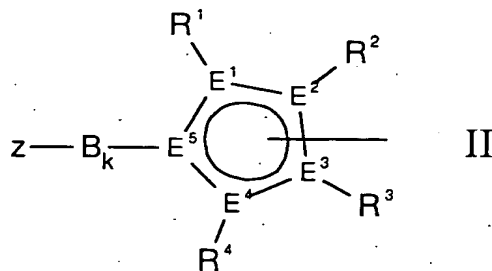
- sein kann, wobei
- 10 L¹, L² Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,
k 1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist auch 0,
- 15 X unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Wasserstoff, C₁-C₁₀-Alkyl, C₂-C₁₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, NR¹⁵R¹⁶, OR¹⁵, SR¹⁵, SO₃R¹⁵, OC(O)R¹⁵, CN, SCN, β-Diketonat, CO, BF₄⁻, PF₆⁻, oder sperrige nichtkoordinierende Anionen,
- 20 R¹-R¹⁶ unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₂₀-Alkyl, C₂-C₂₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, SiR¹⁷₃, wobei die organischen Reste R¹-R¹⁶ auch durch Halogene substituiert sein können und je zwei geminale oder vicinale Reste R¹-R¹⁶ auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
- 25 R¹⁷ unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₂₀-Alkyl, C₂-C₂₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest und je zwei geminale Reste R¹⁷ auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
- 30 n 1, 2 oder 3,
m 1, 2 oder 3.
- 35 3. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom nach den Ansprüchen 1 bis 2.
- 40 4. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 2, worin Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, heteroaromatisches Ringsystem ist.
- 45

5. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 2, worin $E^1E^2E^3E^4E^5$ zusammen mit $R^1R^2R^3R^4$ ein unsubstituiertes oder substituiertes Indenyl ist.
- 5 6. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 5, worin $E^1E^2E^3E^4E^5$ zusammen mit R^1R^2 ein Indenyl ist.
- 10 7. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 6, worin Z ein unsubstituiertes oder substituiertes 8-(Chinoly)System und k gleich 0 ist.
- 15 8. Verfahren zur Polymerisation oder Copolymerisation von Olefinen, in dem man Olefine in Anwesenheit von folgenden Komponenten polymerisiert:
- 20 (A) Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I



25 worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

M Chrom, Molybdän oder Wolfram
 Y durch folgende allgemeine Formel II

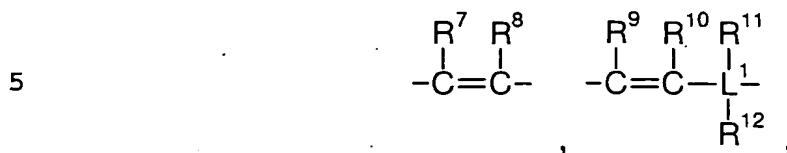


40 beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

E^1-E^5 Kohlenstoff oder maximal ein E^1 bis E^5 Phosphor oder Stickstoff,
 Z NR^5R^6 , PR^5R^6 , OR^5 , SR^5 oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,

45

B eine der folgenden Gruppen:



10 und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist, auch



sein kann, wobei

- L¹, L² Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,
 k 1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist auch 0,
 X unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Wasserstoff, C₁-C₁₀-Alkyl, C₂-C₁₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, NR¹⁵R¹⁶, OR¹⁵, SR¹⁵, SO₃R¹⁵, OC(O)R¹⁵, CN, SCN, β-Diketonat, CO, BF₄⁻, PF₆⁻, oder sperrige nichtkoordinierende Anionen,
 25 R¹-R¹⁶ unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₂₀-Alkyl, C₂-C₂₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, SiR¹⁷₃, wobei die organischen Reste R¹-R¹⁶ auch durch Halogene substituiert sein können und je zwei geminale oder vicinale Reste R¹-R¹⁶ auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
 30 R¹⁷ unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₂₀-Alkyl, C₂-C₂₀-Alkenyl, C₆-C₂₀-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest und je zwei geminale Reste R¹⁷ auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
 40 n 1, 2 oder 3,
 m 1, 2 oder 3,

45 (B) optional einer oder mehreren Aktivatorverbindungen,

und

(C) optional einem oder mehreren zusätzlichen für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysatoren.

5

9. Verfahren nach den Anspruch 8, worin man als Aktivatorverbindung (B) eine Verbindung ausgewählt aus der Gruppe Alumin-
oxan, Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat, Tri-
tyltetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Trispentafluorophenyl-
boran verwendet.

10

10. Verfahren nach Anspruch 8, worin mindestens ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Ethen, Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen oder 1-Decen polymerisiert wird.

15

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten oder 1-Octen polymerisiert wird.

20

12. Verfahren nach Anspruch 8, worin die Polymerisation in Suspension, in Lösung oder in der Gasphase erfolgt.

13. Polymerisate von Olefinen, erhältlich nach dem Verfahren gemäß Anspruch 8.

25

14. Fasern, Folien und Formkörper, enthaltend Polymerisate von Olefinen gemäß Anspruch 13 als wesentliche Komponente.

30

35

40

45

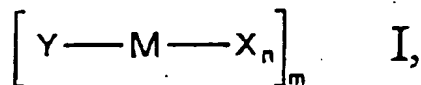
Monocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram

Zusammenfassung

- 5 Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über sp^3 hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt sowie ein Verfahren zur Polymerisation von Olefinen.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45

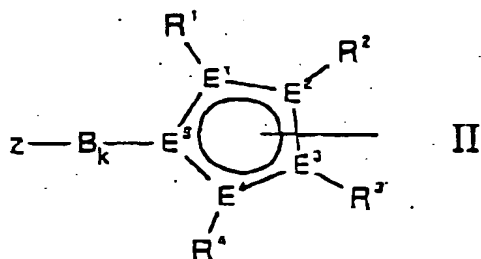
Patentansprüche

1. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluoren-
 5 renyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über sp^3 hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt, die eine neutrale funktionelle
 10 Gruppe ist, enthaltend ein Element der 15. oder 16. Gruppe des Periodensystems.
2. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluoren-
 15 renyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I



20 worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

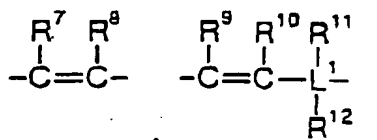
M Chrom, Molybdän oder Wolfram
 Y durch folgende allgemeine Formel II



beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- 35 E^1-E^5 Kohlenstoff oder maximal ein E^1 bis E^5 Phosphor oder Stickstoff,
 Z NR^5R^6 , PR^5R^6 , OR^5 , SR^5 oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,
 40 B eine der folgenden Gruppen:

45



und

(C) optional einem oder mehreren zusätzlichen für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysatoren.

- 5
9. Verfahren nach den Anspruch 8, worin man als Aktivatorverbindung (B) eine Verbindung ausgewählt aus der Gruppe Alumin-
oxan, Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat, Tri-
10 cylyltetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Trispentafluorophenyl-
boran verwendet.
10. Verfahren nach Anspruch 8, worin mindestens ein Olefin aus-
15 wählt aus der Gruppe Ethen, Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-He-
xen, 1-Hepten, 1-Octen oder 1-Decen polymerisiert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein
Olefin ausgewählt aus der Gruppe Propen, 1-Buten, 1-Penten,
1-Hexen, 1-Hepten oder 1-Octen polymerisiert wird.
- 20 12. Verfahren nach Anspruch 8, worin die Polymerisation in
Suspension, in Lösung oder in der Gasphase erfolgt.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45